

AValiação DE ELEMENTOS TÓxicOS EM ÁGUA, CABELO E PEIXE NA REGIÃO DA VOLTA GRANDE DO RIO XINGU – LOCAL DA FUTURA UHE BELO MONTE

Simone de F. P. Pereira¹, Augusto C. F. Saraiva²

1-Laboratório de Química Analítica e Ambiental (LAQUANAM) da Universidade Federal do Pará.
Av. Augusto Corrêa nº 1, Campus Universitário do Guamá, Belém, 66075-100, Brasil. E-mail: simonefp@ufpa.br
2-Laboratório Central (LACEN) – ELETRONORTE – PA.

Resumo – O rio Xingu é um dos afluentes mais importante para o rio Amazonas. Neste rio existe a previsão da construção de uma hidrelétrica e se faz necessário avaliar os impactos ambientais que esta poderia causar à região. Este trabalho teve como objetivo avaliar a contaminação pelos elementos químicos em diversas matrizes como água, peixe e cabelo. Os elementos foram determinados por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-AES) e por Espectrometria de absorção atômica com geração de hidretos (HGAAS) (As e Hg). Dos elementos pesquisados em água de rio, somente o ferro apresentou concentrações acima do permitido pela resolução 357/05 do CONAMA, sendo sua fonte definida como natural devido a geoquímica local. Esse elemento é benéfico à saúde, porém em doses elevadas pode causar problemas a saúde da população ribeirinha local. Foram analisados diversos metais em cabelo coletados de indivíduos nas comunidades das ilhas do rio Xingu. A Ilha do Canteiro apresentou níveis de significância para contaminação por chumbo e mercúrio em cabelo ($p < 0,01$) bem expressivos, tanto para o tipo de água utilizada e na comparação dos níveis dos elementos entre fumantes e não fumantes. O teste de significância utilizado, mostrou o comportamento das localidades destacando a ilha do Canteiro como principal localidade afetada pela contaminação por chumbo e mercúrio, provavelmente devido a presença de garimpos próximo dessa localidade, tal conclusão foi confirmada pelo dendograma que destacou a ilha do Canteiro, por meio da análise da similaridade entre os pontos de coleta. Quanto ao peixe, somente a espécie piranha apresentou níveis considerados preocupantes para o elemento mercúrio em uma única amostra.

Palavras-chave - rio Xingu, cabelo, água, peixe, metais

I. INTRODUÇÃO

A busca crescente de riquezas para fazer face às necessidades humanas, culminando nos novos processos exploratórios tem produzido resíduos em larga escala, que foram e são, ainda, dispostos deliberadamente em um dos três reservatórios geoquímicos da natureza: atmosfera, litosfera e hidrosfera. Cada um desses sistemas com sua natural interdependência fornece energia para um sistema integrador: a biosfera. Dada a dependência da espécie humana, desses reservatórios, justifica-se a preocupação com as consequências das atividades antrópicas que os poluem [1].

Dos 92 elementos químicos naturais conhecidos, perto de 50 são encontrados no organismo humano. São classificados como: essenciais, como o ferro, tóxicos, como o chumbo e aqueles cuja função no corpo humano ainda não é bem conhecida, como o rubídio [2], [3].

Elementos traços e especialmente os chamados metais pesados são os mais comuns poluentes ambientais e sua ocorrência na biota e em água indicam uma origem natural ou antrópica da contaminação. As mais comuns fontes naturais de metais em água são oriundas do intemperismo de minerais. Efluentes industriais tanto quanto a precipitação atmosférica podem ser a origem de incrementos na concentração de metais pesados no ambiente. Vários autores estudaram as concentrações totais de metais pesados em água e sedimentos em rios. Concentrações altas de metais foram encontrados próximos a locais com conhecidas descargas industriais. A contaminação exógena do cabelo pode ocorrer através do arraste de substâncias externas (poeira, fumaça, cosméticos, suor e sebo provindos das glândulas sebáceas e ecrinas que lançam seus produtos sobre a epiderme) e pela água, uma vez que o cabelo é hidrófilo. Os elementos traço presentes na água irão fixar-se à queratina do cabelo, ou em alguns casos específicos, à membrana das células [4], [5].

Os metais tóxicos ocorrem como contaminantes ambientais e as concentrações no meio ambiente cresceram de acordo com o aumento do seu uso industrial. Com o

advento da Revolução Industrial, as concentrações de metais no meio ambiente elevaram-se de forma alarmante, principalmente devido à introdução de compostos nos processos industriais e no garimpo de ouro.

As altas concentrações de elementos químicos em águas superficiais e em água de fundo são devido a uma combinação sem igual de fatores naturais hidrológicos e geoquímicos, a irrigação de áreas agrícolas representa um papel secundário. Fatores climáticos e físico-químicos tem relação direta com a presença de elementos como o arsênio. Vários estudos mostram que a zona ácida de um rio pode receber altas contribuições de arsênio, fosfato e ferro oriundos da drenagem de garimpos existentes nos corpos hídricos da região Amazônica, como é o caso do rio Xingu. Primeiramente ocorre a dissolução da pirita e dos óxidos de ferro que são lançados no rio. Este processo é contrabalançado pela remoção do ferro por precipitação de Fe-óxidos e complexos Fe-orgânicos e fixação das algas. A quantidade de algas e a precipitação pluviométrica alteram significativamente os valores encontrados para estes elementos [6],[7], [8] [9], [10].

A construção de usinas hidrelétricas (UHEs) procura responder uma demanda sócio-econômica, que é a dependência energética a preço relativamente baixo. Entretanto, essa demanda acaba sendo conflitante com outros interesses da sociedade. Assim, em regiões onde grande parte da população extrai o seu aporte proteico dos produtos de pescado, as necessidades alimentares são evidentemente fundamentais. Ao lado da alimentação, preocupações conservacionistas sobre biodiversidade e modos de vida são cada vez mais valorizados. Por isso, a previsão e a avaliação dos impactos das hidrelétricas no ambiente vêm sendo consideradas como prioridade [11].

A região Amazônica possui uma das maiores bacias hidrográficas do nosso planeta, cujo potencial a ser explorado com vistas à geração de energia representa 54% do total gerado no país, porém, o seu aproveitamento implica em promover impactos ambientais significativos que não devem ser negligenciados no ponto de vista ambiental.

As águas do rio Xingu, de acordo com a resolução 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), podem ser classificadas na área estudada como águas de rio de classe 1, já que são destinadas tanto para abastecimento urbano (cidades de Altamira e Belo Monte) quanto para suprir as necessidades de populações ribeirinhas, considerando-se que há inúmeras aldeias indígenas (Parque Indígena do Xingu) que utilizam a água desse rio para suas diferentes atividades, desde a pesca e irrigação de hortaliças até à ingestão direta da água, sem qualquer tratamento .

A região em estudo localiza-se no estado do Pará na Volta Grande do rio Xingu próximo a Altamira, onde há extração de ouro além da presença de Fe, Cu, Ni, Cr e chumbo (figura 1).

A contaminação de indivíduos por metais tem sido objeto de várias pesquisas, que demonstram o grau de perigo a que essas populações se expõe quando em contato com estes elementos [12], [13], [14]. Água potável com baixo pH e baixas concentrações de sais dissolvidos podem acarretar o aumento da concentração dos metais que se concentram

geralmente no fundo dos rios sendo absorvidos por peixes e microorganismos que vivem nessa região e com isso são introduzidos na cadeia alimentar do homem [15], [16].

A quase totalidade da área mapeada está contida na bacia hidrográfica do rio Xingu, o qual se desenvolve transversalmente na porção ocidental, formando um grande arco convexo para leste, onde recebe, pela margem direita, o rio Fresco que é um dos principais afluentes, juntamente com o rio Iriri [17].

Altamira, típica cidade do interior do Pará, distante 720 km de Belém, com uma população estimada de 77 mil habitantes, é a mais importante cidade localizada no rio Xingu, um dos maiores afluentes da margem direita do rio Amazonas. ao longo dos últimos 30 anos, foi palco de intenso fluxo migratório, tendo a exploração agropecuária como mola propulsora da economia local.

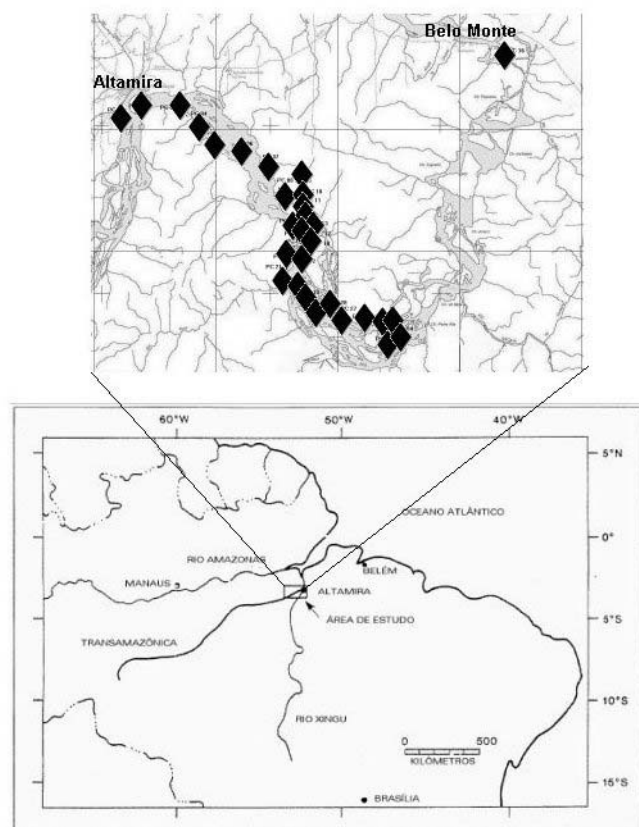


Figura 1: Mapa da área estudada

II. METODOLOGIA

A. Amostragem

Água

As coletas foram efetuadas com auxílio do coletor de polietileno com capacidade de cinco litros de amostra. Foram selecionados 36 pontos identificados pela sigla PC (ponto de coleta) e respectivo número de seqüência, sendo estas em duplicata. Os pontos foram devidamente georeferenciados através de um GPS de marca Garmim. As amostras de água coletadas foram armazenadas em garrafas de polietileno

previamente descontaminadas com HCl a 20% e mantidas preservadas a 4°C para posterior determinação dos elementos.

Cabelo

As coletas de cabelo foram efetuadas em 151 indivíduos de Altamira e de algumas comunidades da região da Volta Grande do Xingu (ilhas da Ressaca, Fazenda, Canteiro, Belo Monte e Vila do Galo).

Com o intuito de caracterizar os indivíduos que residem nessa região, foi aplicado um questionário de avaliação do perfil populacional e sintomatologia ligada aos problemas gerados pelos metais.

Peixe

As coletas dos peixes foram realizadas em conjunto com pescadores locais. Todos os exemplares coletados foram medidos e pesados, sendo em seguida agrupadas por classe de tamanho (tabela 1).

Os resultados referentes as amostras de peixes (apresentados em peso seco), foram comparadas com critério para consumo humano estabelecidos no Brasil.

Tabela 1 – Espécies analisadas no rio Xingu

Nome popular	Nome científico	Familia	Hábito Alimentar
Jacundá	Crenicichla spp	Cichlidae	Carnívoro
Matrinxã	Brycon sp	Characidae	Carnívoro/ herbívoros
Pacu	Piaractus mesopotamicus	Characidae	Carnívoro
Piranha	Serrasalmus spp	Characidae	Carnívoro
Tucunaré	Cihla spp	Cichlidae	Carnívoro
Serra Negra	Pionopsitta pileata		
Pescada	Plagioscion spp	Sciaenidae	Carnívoro

B. Tratamento e abertura das amostras

Água

As amostras encaminhadas para Belém foram imediatamente filtradas em membranas tipo gff (*millipore* 0,45 mm) e congeladas para posterior análises dos elementos tóxicos. No local de coleta foram analisados os seguintes parâmetros: pH, temperatura, condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez e alcalinidade no laboratório foram analisados os metais (Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sr e Zn) por plasma induzido e As e Hg por espectrometria de absorção atômica com geração de hidreto e vapor frio de mercúrio. Os aspectos climáticos da região do xingu no momento das coletas e a localização dos pontos de amostragem foram observados e georeferenciados.

Cabelo

As amostras de cabelo foram lavadas com água destilada e sabão neutro para a remoção de partículas de poeira, suor, gordura em seguida foi enxaguado com acetona PA (Merck), levada à estufa numa temperatura de 60°C. Após secagem, as amostras foram cominuídas e homogeneizadas com o auxílio de uma tesoura de aço inoxidável. Foi pesado aproximadamente 0,3 gramas do cabelo seco no reator de microondas utilizando uma balança analítica. As análises foram feitas em duplicata. Posteriormente a cada amostra adicionou-se 1,5 mL de ácido nítrico suprapur 65% (Merck) e 0,25 mL de peróxido de hidrogênio PA 30% (Merck), vedou-se o reator e programou-se o aparelho seguindo uma programação padrão.

Peixe

Foram retiradas amostras da musculatura dos peixes, sendo então preparadas amostras compostas destinadas às análises químicas. Foi usada a abertura úmida com o auxílio de microonda e ácidos fortes, como o HNO₃ e HClO₄.

C. Análise dos elementos

A análise dos elementos Al, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sr e Zn foi realizada através da técnica de espectrometria de emissão atômica com fonte de plasma indutivamente acoplado ICP-AES (modelo Vista-Pro-Varian) os elementos As e Hg foram analisados por HGAAS e CVAAS respectivamente.

O controle de qualidade destas determinações foi realizado através de amostras padrão de referência como a de água de rio (SRM 1640 NIST) e de cabelo NCS Certified Reference Material DC73347 (GBW07601) do China National Analysis Center. Todas as soluções foram preparadas utilizando-se reagentes p.a e água ultrapura com condutividade de 0,054µcm⁻¹. Os resultados obtidos foram comparados com os padrões normais para os elementos em água, cabelo e peixe obtidos na literatura.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Água

Os resultados para a água do rio Xingu estão mostrados nas tabelas 2 e 3.

Os elementos cádmio, chumbo e mercúrio encontraram-se fora do limite de detecção do equipamento utilizado.

Os elementos Cu, Cr, Mo, Ni e Zn apresentaram-se acima do limite de detecção apenas nos seguintes pontos de coletas

- Cu, PC-10, PC-23, PC-28, PC-29, sendo seu máximo representado pelo PC-29 (13,61 µg/L);
- Cr, PC 28 e PC 29, valor máximo no PC 29 (21,22 µg/L);
- Mo, PC-28 (45,87µg/L)
- Ni, PC-28; (32,92 µg/L)
- Zn, PC-33 a PC-36, sendo seu máximo representado pelo PC-36 (83,11µg/L)

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n.º 357/05 os rios da região estudada pertencem à classificação de rios de classe 1. A resolução CONAMA 357/05 não estabelece limites máximos para os elementos sódio, potássio, cálcio, magnésio, molibdênio e estrôncio.

Tabela 2 – Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos

	T. água (°C)	pH	Cond. ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	OD (mg/L)
CONAMA	-----	6 - 9	----	> 6
média	28,84	7,33	42,97	5,48
máx.	34	8,17	131,63	6,6
min	24	5,3	1,8	2,2
Desv.Pad	2,44	0,62	35,71	0,85
	Alcalini- dade	Turbidez (UNT)	Sólidos Sedim.	
CONAMA	-----	até 40	----	
média	10,89	2,47	0,091	
máx.	18	17	0,3	
min	6,5	0	0	
Desv.Pad	3,02	4,97	0,06	

Tabela 3 – Resultados dos elementos ($\mu\text{g/L}$) para água de rio

Elemento	Ca	Fe	Mg	Na	K
Conama	-	300	-	-	-
LD	16,05	4,77	8,28	63,17	2,46
Média	4391,66	508,58	1298,98	1814,38	1087,76
Mínimo	303,24	4,69	265,86	45,87	242,44
Máximo	114410	2426,83	23834,25	5288,08	2076,78
Elemento	Sr	Zn	Mo	Al	Ba
Conama	-	180	-	100	1000
LD	0,10	4,88	3,82	2,07	0,76
Média	15,69	5,35	0,18	54,60	47,88
Mínimo	1,99	<LD	<LD	9,13	0,95
Máximo	32,38	83,11	1,90	792,39	93,83
Elemento	Pb	Se	Cu	Mn	Ni
Conama	30	10	20	100	25
LD	9,68	-	1,67	1,20	4,22
Média	0,37	2,24	0,82	21,20	0,13
Mínimo	<LD	10,06	<LD	7,36	<LD
Máximo	3,46	28,84	12,66	66,15	2,92
Elemento	As	Hg	Cd	Cr	Co
Conama	50	0,2	1,0	50	200
LD	1,88	-	0,66	0,87	-
Média	4,05	0,01	0,04	0,56	1,67
Mínimo	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Máximo	62,20	0,05	0,24	19,10	4,40

Os parâmetros físico-químicos estiveram em conformidade com a resolução do CONAMA, apenas o OD esteve fora da resolução em média e na maioria dos pontos

(PC-01,02,07, 09, 10, 12-26, 31, 33-36) com valores abaixo de 6 mg/L de OD. Esta anomalia pode ser devida a um fenômeno ocorrido no rio Xingu 4 meses antes da coleta das amostras onde ocorreu uma grande mortandade de peixes no rio devido a redução do oxigênio gerado pela explosão (bloom) de algas no rio Iriri e que avançou sobre o rio Xingu até o ponto de coleta e além deste.

Os elementos que obtiveram valores de concentração acima da resolução CONAMA n.º 357 de 17 março de 2005, sendo considerados elementos em concentrações tóxicas apresentando riscos ambientais e a saúde humana foram os elementos arsênio, alumínio, ferro, manganês e selênio nos seguintes pontos:

- As, PC-28 e PC-29;
- Al, PC-01, PC 28, PC 29 e PC 33;
- Fe, na maioria dos pontos
- Mn, PC-28
- Cu, PC-10 e PC-29
- Se, PC-12, PC-19, PC-31 e PC-34.

O arsênio obteve valores máximos e acima da resolução CONAMA apenas nos pontos PC-28 e PC-29, sendo 1,21 e 1,24 vezes maior que o permitido respectivamente. A concentração média deste elemento teve como valor 4,05 $\mu\text{g/L}$ estando dentro do valor permitido pelo CONAMA. A presença do arsênio nos pontos PC-28 e PC-29, que representa o efluente de garimpo, confirma a hipótese que, sendo o arsênio elemento rastreador do ouro, é introduzido no ambiente através da garimpagem deste elemento quando o minério é lavado e quando o mercúrio é evaporado para isolar o ouro. O arsênio é um elemento altamente tóxico estando relacionado com diversas doenças como câncer de pele, pulmão, bexiga e próstata, anemia profunda, desordem do sistema imunitário e nervoso e causa alterações graves no sistema reprodutor.

O alumínio apresentou-se acima dos níveis máximos permitidos na resolução CONAMA em quatro pontos sendo seus valores até 2,4 (PC-01); 3,22 (PC-28); 8,82 (PC-29) e 1,34 (PC-33) vezes maior que o permitido pelo CONAMA, estes valores elevados de concentração são devido, provavelmente, pelo fato do alumínio se apresentar ligado a argilo-minerais em suspensão.

Este elemento é considerado bastante tóxico tanto para a saúde humana, principalmente para o sistema nervoso central onde se associa a intoxicação pelo elemento ao mal de Alzheimer e quanto à contaminação de solo, impedindo o desenvolvimento de plantas.

O ferro apresentou-se acima do permitido pelo CONAMA para rios de classe 1 em quase todos os pontos, tendo seu valor máximo encontrado no PC-29 (2426,8 $\mu\text{g/L}$) e mesmo sua média (522,45) está acima da resolução CONAMA, estes valores obtidos pode ser explicado pela composição geoquímica da região onde o ferro apresenta mobilidade relativa de 32,61%. Em pH maior que 4,8 é comum encontra-se maior quantidade de ferro nas formas de hidróxidos e óxidos.

O elemento Mn apresentou apenas em um ponto (PC-28) concentração superior ao estabelecido pelo CONAMA, sendo 10,60 vezes maior e sua concentração média obtida foi

de 50,65, dentro do permitido. Em condições de pH neutro se apresenta dissolvido na forma de Mn^{4+} , o pH do ponto 28, onde o manganês obteve maior resultados, apresenta essas condições sendo pH igual a 7,2.

Manganês em doses altas apresenta tendência a elevação da pressão arterial que se pode contrabalançar com o zinco (hipotensor).

O elemento cobre apresentou-se acima da resolução CONAMA 357/05 em dois pontos PC-10 (13,44 μ g/L) e PC-29 (13,61 μ g/L) sendo seu valor máximo no PC-29, porém sua média (1,1 μ g/L) esteve em acordo com o CONAMA. O cobre em concentrações elevadas, é prejudicial à saúde e confere sabor às águas, em pequenas quantidades é benéfico ao organismo humano.

O selênio apresentou quatro pontos de coletas (PC) acima do permitido pelo CONAMA, sua média (2,24 μ g/L) obteve resultados em acordo com o CONAMA 357/05, tendo seu ponto máximo PC-12 sendo 2,28 vezes maior que o estabelecido pelo CONAMA. Selênio é um oligomineral essencial possui propriedades capazes de agir contra o envelhecimento ou a prevenção do câncer, porém em doses elevadas provoca uma toxicose, com perdas de cabelos e das unhas.

O elemento níquel apresentou-se em concentração superior em relação ao CONAMA em um único ponto (PC-28) sendo 1,31 vezes maior que o estabelecido. Sua concentração média igual a 0,91 e está abaixo da estabelecida pelo CONAMA.

Cabelo

Através da análise química do tecido capilar se pode identificar uma série de elementos químicos presentes nos cabelos das populações estudadas. O uso desta análise na identificação da contaminação por elementos tóxicos está sendo bem aceito pela comunidade científica para tentar explicar alterações ambientais no ciclo biogeoquímico destes, mais frequentemente causadas pelo homem e que suas ações interferem em toda a biota.

Diversos cenários que levam a modelos de pesquisas diferenciados. Assim, foram encontradas fracas correlações entre os itens avaliados e os evidenciados na literatura internacional comentada. Provavelmente, este fato é um indício de que pesquisas mais amplas e abrangentes deveriam ser realizadas nesta região.

Os resultados para os níveis dos elementos em cabelo da população do município de Altamira estão mostrados nas tabelas 4, 5 e 6.

As características da população estudada estão em concordância com a população residente na Região Amazônica. Apresenta índices sócio econômico e educacional baixos, refletindo diretamente na renda per capita e no IDH destes moradores.

Alguns autores [18] afirmam que não é possível falar-se em valores normais para os elementos tóxicos, mas em faixas de concentração consideradas normais, pois a ingestão, em excesso, de elementos tóxicos, que acompanha o envenenamento por metais pesados ou a deficiência de micronutrientes associada a dietas pobres pode levar a um

desvio dos valores considerados normais, para uma determinada população. Com isso, estes autores propuseram uma faixa de concentração para 37 elementos em cabelo.

Tabela 4 – Resultado da análise de elementos em cabelo de moradores da cidade de Altamira - Pará

Comunidade da cidade de Altamira ^a				
Elementos	Média ^a	Desvio padrão ^a	Mínimo ^a	Máximo ^a
Al	33,716	34,675	6,937	213,711
As	0,170	0,284	< LD ^d	1,507
Ba	7,592	10,550	< LD	51,707
Ca	68,896	205,476	0,017	922,742
Cd	0,077	0,157	< LD	0,925
Cr	0,493	1,444	< LD	12,752
Cu	91,903	256,115	4,559	1574,084
Fe	2,475	7,848	< LD	48,545
K	84,847	80,653	9,346	588,497
Mg	8,104	26,428	< LD	114,961
Mn	6,016	9,556	< LD	55,199
Mo	0,299	0,505	< LD	1,984
Na	15,653	50,872	0,0107	292,303
Ni	2,256	2,512	< LD	18,042
Pb	99,878	813,025	< LD	7276,139
Sr	2,951	3,386	< LD	19,690
Zn	144,109	146,332	33,702	1321,023
Hg	1,324	1,264	< LD	7,673

Tabela 5 – Resultado da análise de elementos em cabelo de moradores das comunidades das ilhas da Volta Grande do rio Xingu e Belo Monte

Elementos	Média ^b	Desvio padrão ^b	Mínimo ^b	Máximo ^b
Al	31,405	20,96	6,517	102,950
As	0,321	0,232	< LD	1,449
Ba	29,881	24,797	2,773	108,316
Ca	0,731	0,484	0,033	2,01
Cd	0,549	0,278	< LD	1,587
Cr	0,549	0,569	< LD	2,803
Cu	115,459	472,857	6,137	3719,844
Fe	0,034	0,0311	0,002	0,198
K	60,987	59,613	13,387	380,655
Mg	0,153	0,132	< LD	0,561
Mn	12,383	28,733	1,148	243,782
Mo	< LD	< LD	< LD	< LD
Na	0,294	0,235	0,013	1,237
Ni	2,687	2,240	0,420	10,235
Pb	45,023	309,172	1,439	2612,554
Sr	7,448	5,153	0,297	20,646
Zn	185,928	122,118	64,199	891,671
Hg	5,301	5,460	< LD	22,766

Tabela 6 – Resultado geral da análise de elementos em cabelo de moradores do município de Altamira - Pará

Elementos	Média ^c	Desvio padrão ^c	Mínimo ^c	Máximo ^c
Al	32,629	28,975	6,517	213,711
As	0,241	0,270	< LD	1,507
Ba	18,072	21,683	< LD	108,316
Ca	36,845	152,975	0,017	922,742
Cd	0,298	0,324	< LD	1,587
Cr	0,519	1,118	< LD	12,7512
Cu	102,979	372,867	4,558	3719,844
Fe	1,327	5,825	< LD	48,545
K	73,628	72,298	9,346	588,497
Mg	4,366	19,588	< LD	114,961
Mn	9,010	21,060	< LD	243,782
Mo	0,158	0,396	< LD	1,984
Na	8,431	37,711	0,011	292,303
Ni	2,458	2,389	< LD	18,0419
Pb	74,085	627,291	< LD	7276,139
Sr	5,065	4,8478	< LD	20,646
Zn	163,773	136,658	33,702	1321,023
Hg	3,194	4,327	< LD	22,767

^a número de amostras 80 da cidade de Altamira

^b número de amostra 71, que compreendem as comunidades de Arroz Cru, Canteiro, Fazenda, Ressaca, Galo e Belo Monte ao longo do Rio Xingu

^c número de amostras 151, população do Município de Altamira no Pará.

^d < LD – abaixo do limite de detecção do método

Dos elementos analisados destacam-se o chumbo e o mercúrio com níveis considerados altos na ilha do Canteiro (acima de 10 µg/g).

O teor de arsênio no cabelo da população de Altamira. Está, em média, dentro de um intervalo considerado como faixa de normalidade entre 1 a 1,51 µg.g⁻¹, de acordo com WHO (2001). Estes valores também estão em concordância entre os encontrados na literatura, que apresentaram uma faixa de concentração variando entre 0,01 a 2,29 µg.g⁻¹.

Comparando os teores considerando apenas regiões que, historicamente, não apresentam problemas ambientais de contaminação antrópica por arsênio. Cerca de 53,09% dos moradores de Altamira apresentaram teores de arsênio menor que 0,32 µg.g⁻¹, um valor médio semelhante aos encontrados em outros trabalhos. Neste trabalho, 95,6% indivíduos apresentaram concentrações de arsênio abaixo de 1 µg.g⁻¹ e que 77% dos valores menores que 0,5 µg.g⁻¹.

A concentração de arsênio em cabelo de 57,14% da população das comunidades das ilhas e Belo Monte ficou abaixo de 0,32 µg.g⁻¹. Comparando a cidade de Altamira com a região das ilhas (área de garimpo) apresentaram teores bastante próximos e não apresentaram diferença estatística significativa. Assim como, entre os teores de pessoas de diferentes gêneros em cada localidade.

Os valores de arsênio neste ambiente estão associados à ocorrência natural e efeito da mineração que torna a sua possível entrada na cadeia alimentar destas pessoas.

Entre os moradores de Altamira as concentrações de chumbo em cabelo de alguns moradores apresentaram-se muito superiores (265,14 – HM070 e 7276,14 – HM 095) ao intervalo utilizado como faixa de normalidade entre os encontrados na literatura (0,68 a 8,1 µg.g⁻¹) e foram considerados outliers. Assim, cerca de 65,43% dos moradores de Altamira apresentaram teor de chumbo menor que 6,5 µg.g⁻¹, um valor médio inferior dos encontrados em outros trabalhos.

O efeito do fumo nos teores de chumbo no cabelo dos moradores de Altamira, grupo com pessoas maiores de 18 anos indicam que em pessoas que fumam os teores de chumbo no cabelo são mais altos em relação ao grupo dos não fumantes.

A concentração de chumbo em cabelo de 70% das pessoas, das comunidades das ilhas e Belo Monte, encontra-se com valores menores que 8,1 µg.g⁻¹ e 55,71% estão abaixo de 6,5 µg.g⁻¹, considerado uma média mundial. Neste trabalho tem-se que 80% das pessoas pesquisadas apresentaram concentrações de chumbo menor que 10 µg.g⁻¹, cerca de 51,7% apresentaram valores menores que 5 µg.g⁻¹ e também cerca de 25% com valores inferiores a 3,26 µg.g⁻¹.

Observou-se que o teor médio de chumbo no cabelo dos moradores da ilha do Canteiro, mostrou-se mais alto e estatisticamente diferente das outras localidades. Este valor mais elevado nesta localidade pode estar associado a algum fator de absorção local, confirmado pelo coeficiente de correlação de 0,746 para o chumbo com a idade, isso implica em afirmar que a contaminação por chumbo atua de forma diferenciada na população da área rural.

Em Altamira, as concentrações de mercúrio em cabelo apresentaram-se dentro do intervalo utilizado como faixa mundial em regiões que não apresentam problemas ambientais de contaminação antrópica por mercúrio com concentração variando entre 0,3 a 5,92 µg.g⁻¹. Cerca de 76,54% dos moradores de Altamira apresentaram teores de mercúrio menor que 1,94 µg.g⁻¹, um valor médio encontrado em outros trabalhos.

O valor médio da comparação de mercúrio em cabelo da população da cidade de Altamira foi de 2,55 µg.g⁻¹ apresentando uma variabilidade de 49,26%. Nesta localidade foi registrado o maior valor da concentração deste elemento.

A concentração de mercúrio em cabelo das populações das comunidades das ilhas e Belo Monte. No geral, se apresentaram no intervalo de 0,11 a 22,77 µg.g⁻¹ e estão em concordância aos valores encontrados na região. Cerca de 89,40% dos valores encontra-se abaixo de 5,92 µg.g⁻¹, um valor médio dos encontrados em outros trabalhos. Cerca de 92,71% estão abaixo de 10 µg.g⁻¹, com índice máximo recomendado para o cabelo para a WHO.

O maior valor, das médias das concentrações de mercúrio em cabelo das comunidades das ilhas e Belo Monte, foi encontrado para o povoamento da Ilha do Canteiro com 12,79 µg.g⁻¹, que representa um valor de, aproximadamente,

quatro vezes superior do valor médio mundial e cinco vezes o valor médio de Altamira.

Peixe

Os valores de referência em tecido de peixe para os níveis dos elementos tóxicos estabelecidos em diversos países estão mostrados na tabela 7.

Tabela -7 Critérios para classificação dos organismos aquáticos coletados na bacia do rio Xingu baseados no risco ao consumo

metais	unidade	Brasil	USEPA	USFDA
Cd	$\mu\text{g.g}^{-1}$	1,0		
Pb	$\mu\text{g.g}^{-1}$	2,0		
Cu	$\mu\text{g.g}^{-1}$	30,0		
Cr	$\mu\text{g.g}^{-1}$			11,0
Mn	$\mu\text{g.g}^{-1}$		54,0	
Hg	$\mu\text{g.g}^{-1}$	0,5		
Ni	$\mu\text{g.g}^{-1}$	5,0		
Zn	$\mu\text{g.g}^{-1}$	50,0		

Na tabela 8 estão os resultados para os níveis de elementos tóxicos em tecido de peixe para todas as espécies analisadas.

Tabela 8 – Resultados para os níveis de elementos tóxicos em tecido de peixes do rio Xingu.

	Sr	Zn	Hg	Mg	Ca	K
Média	1,31	5,12	0,20	686,15	1092,79	3723,01
Mínimo	0,01	2,27	0,05	412,08	256,60	2173,60
Máximo	10,21	10,59	0,53	934,55	5483,80	5321,45
Desvio Padrão	1,90	1,85	0,10	122,34	1130,60	920,89
	Na	Al	Fe	Ba	Mn	
Média	995,73	8,59	11,46	0,47	1,73	
Mínimo	666,20	3,30	0,69	0,09	0,33	
Máximo	1348,50	41,89	58,51	1,44	3,56	
Desvio Padrão	196,66	9,40	14,82	0,46	1,35	

Os elementos Mo, As, Ni, Pb, Cu e Cd apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção do método.

As concentrações de estrôncio nas musculaturas dos peixes analisados variaram de $0,01 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Tucunaré) a $10,21 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Pacu – branco). Sendo que a média foi de $1,31 \mu\text{g.g}^{-1}$. A USEPA não obteve valores de toxicidade para o estrôncio.

O Brasil não possui um limite específico de zinco para os organismos aquáticos, destinados ao consumo humano. Portanto, considerou-se o limite ($50 \mu\text{g.g}^{-1}$) para a categoria “outros alimentos” presente na legislação. Nos peixes o zinco se acumula principalmente na pele, ossos, fígados, brânquias e rim, os quais normalmente não são consumidos pela população. Existe pouca evidência em relação à carcinogenia do zinco, e a USEPA classificou o zinco como

um grupo carcinogênico D (não classificável para a carcinogenia humana) baseada em evidência inadequada em experimentos com humanos e animais. As concentrações de zinco nos peixes analisados variaram de $2,27 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Kadet) a $10,59 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Pacu – curupité). Sendo que a média foi de $5,12 \mu\text{g.g}^{-1}$. O zinco é um metal essencial para os organismos em pequenas quantidades, podendo não ser absorvido pelas brânquias, intestino e vísceras dos peixes, mas podem também ser excretados desde que não presentes na coluna d'água. Embora existam poucos dados acerca dos efeitos do zinco no ambiente marinho, sabe-se que o mesmo é acumulado por algumas espécies, e os organismos marinhos têm apresentado teores de zinco de 6 a $1.500 \mu\text{g.g}^{-1}$. As concentrações de zinco da musculatura de peixes da plataforma continental da costa sul do Brasil, entre as latitudes de 22° e 29° S variaram de 2,1 a $15 \mu\text{g.g}^{-1}$. Em síntese as determinações de zinco nos peixes indicaram valores médios abaixo do limite recomendado pela legislação brasileira.

No Brasil o limite máximo permissível de mercúrio total em peixes, crustáceos e moluscos, critério este também adotado por vários outros países é de $0,5 \mu\text{g.g}^{-1}$. Países como a Holanda, Estados Unidos e Suíça, adotam o dobro do limite estipulado pelo Brasil, existindo, ainda, países que adotam limites mais restritivos, como o Japão, que determina $0,4 \mu\text{g.g}^{-1}$ como o máximo permissível de mercúrio nos organismos aquáticos para consumo. No que refere aos teores detectados na musculatura das espécies analisadas, verificou-se que variaram de $0,05 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Pacu-branco) a $0,53 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Piranha-preta) única espécie com valores acima do recomendado. As concentrações de mercúrio detectadas na musculatura de peixes da plataforma continentais da costa sul do Brasil, entre as latitudes de 22° e 29° S variaram de $0,012$ a $0,35 \mu\text{g.g}^{-1}$. Observa-se que a média de mercúrio determinada no trabalho atual ($0,20 \mu\text{g.g}^{-1}$) está dentro do intervalo determinado por aqueles autores.

O efeito tóxico do manganês, no meio aquático, depende da concentração desta substância, das condições de pH (a mobilidade do manganês aumenta com a diminuição do pH) e do potencial redox – Eh. Todas as amostras de peixes analisadas apresentaram valores de manganês abaixo do limite para o consumo humano ($54 \mu\text{g.g}^{-1}$) estabelecido por USEPA. No trabalho atual os valores de manganês variam de $0,33 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Pacu-branco) a $3,56$ (Pacu-curupité).

Os valores de cálcio oscilaram entre $256,60 \mu\text{g.g}^{-1}$ (jacundá) a $5483,80 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Pacu-branco). A USEPA não obteve nenhum valor tóxico para o cálcio até ao presente momento. Observando os teores obtidos para o potássio, os mesmos oscilaram entre $2173,60 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Piranha preta) a $5321,45 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Tucunaré). A USEPA não obteve nenhum valor tóxico para o potássio até ao presente momento. Analisando as concentrações obtidas para sódio, as mesmas oscilaram entre $666,20 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Kadet) a $1348,50 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Pacu-branco). A USEPA não obteve nenhum valor tóxico para o sódio até ao presente momento. O alumínio é geralmente considerado por ter baixa toxicidade humana. A inalação de alumínio é raramente causa de doenças pulmonares como a asma ou fibroses. Com relação as amostras de peixes obtidas,

as concentrações oscilaram entre 3,30 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Tucunaré) a 41,89 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Pacu-curupité). A USEPA não obteve nenhum valor tóxico para o alumínio até ao presente momento. Observou-se que as concentrações de ferro em peixe oscilaram entre 0,69 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Tucunaré) a 58,51 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Pacu-curupité). A USEPA não obteve valores tóxicos para o ferro.

As concentrações de magnésio variaram entre 412,08 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Kadet) a 934,35 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Pacu-branco). A USEPA não obteve valores tóxicos para o magnésio até o presente momento. Nas amostras de peixes obtidas observou-se concentrações de bário oscilando entre 0,09 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Pescada) a 1,44 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Pacu-curupité). O bário não foi avaliado pela USEPA em relação à probabilidade de carcinogenicidade humana.

IV. CONCLUSÃO

A avaliação que se tem dos resultados obtidos nesse estudo, é que o impacto sofrido pela área devido à garimpagem está de certa forma influenciando no processo de contaminação por chumbo na população que reside na área do rio Xingu.

A ação antrópica e alguns fenômenos naturais influenciaram a alteração da qualidade da água com destaque para os baixos valores de oxigênio dissolvido e altos valores para o elemento ferro.

Quanto aos elementos tóxicos em cabelo destacaram-se o mercúrio e o chumbo com evidente concentração na região das ilhas, localidades mais expostas a atividade garimpeira. Um fator de destaque negativo que ocorre na Ilha do Canteiro com o ponto de maior concentração de chumbo. Os fatores que levaram a localidade a esse ponto de destaque é justamente o fato de ser um lugarejo em que residem apenas duas famílias e que tem como única fonte de alimento, o rio Xingu afetado pela garimpagem.

Pela análise de regressão feita ficou demonstrado que a faixa etária de 0 à 10 anos é que mostrou-se mais propícia a contaminação por chumbo com um R^2 de -0,83, indicando uma forte correlação entre esta faixa de idade. O problema mais grave ficou demonstrado pela extração de ouro que está influenciando na contaminação do meio ambiente e posteriormente a população. O motivo pelo qual chegou-se a essa conclusão, deve-se à expressiva diferença da concentração média de chumbo em cabelo na área estudada (8,59 $\mu\text{g}/\text{g}$) onde encontram-se as áreas de garimpo.

Esta informação foi comprovada com o teste que analisou o tipo de água utilizada pela população em geral, mostrando que a água de rio é a que apresenta maior concentração média de chumbo com cerca de quatro vezes (27,25 $\mu\text{g}/\text{g}$) o valor médio dos outros tipos de água comprovando estatisticamente ($p < 0,01$) que a principal fonte natural de alimentação, é o principal meio de contaminação da população, comprovando a causa dos níveis elevados de chumbo em amostras de cabelo da população. Essa contaminação da água de rio é proveniente dos garimpos existentes nas proximidades da Ilha do Canteiro.

É importante frisar que esse teste foi aplicado para analisar a concentração dos metais em relação aos fumantes e não fumantes, constatando que o hábito de fumar contribui, mesmo que em menor proporção, no processo de contaminação da população.

Os peixes analisados não apresentaram, em média, níveis preocupantes, sendo destaque uma amostra com concentração de mercúrio acima do permitido. Este tipo de matriz necessita de um estudo mais amplo envolvendo a análise do fígado, rim e outros órgãos onde existe indicação de concentração dos elementos tóxicos.

De posse das informações apresentadas nesse estudo, chega-se a uma avaliação de que os garimpos estão gerando impactos negativos ao meio ambiente e à população da área, em relação a contaminação pelos metais pesados.

REFERÊNCIAS

- [1] ATSDR US Department of Health and Human Services, Public Health Service, (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), Toxicological profile for lead, Atlanta, Georgia: U.S. Department of Health and Human Services; 1983.
- [2] Matos, A.T.; Fontes, M.P.F.; Jordão, C.P.; Costa, L. M. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em latossolo vermelho-amarelo, Rev. Bras. Ciência, Solo, v.20, p.379-86, 1996.
- [3] Dipietro, E.; Philips, D.; Paschal, D.; Neese, J. Determination of trace elements in human hair: Reference intervals for 28 elements in nonoccupationally exposed adults in the US and effects of hair treatments, *Biol. Trace Elem.*, p34:59, 1989.
- [4] Chatt, A. e Katz, S. A.; Hair Analysis, Applications in the Biomedical and Environmental Sciences, VCH Publishers, New York, 1988.
- [5] Passwater, R. A. e Cranton, E. M. Trace Elements, Hair Analysis and Nutrition, Keats Publishing Inc., New Canaan, CT, USA, 1983.
- [6] Kaise T, Sakurai T, Saitoh T, Matsubara C, Sakai T, Inoue Y Chemical species of arsenic in the river water at Mt. Hakone *Japanese Journal of Toxicology and Environmental Health* 44: (1) P7-P7, 1998.
- [7] Elbaz-Poulichet F, Dupuy C, Cruzado A, Velasquez Z, Achterberg EP, Braungardt CB Influence of sorption processes by iron oxides and algae fixation on arsenic and phosphate cycle in an acidic estuary (Tinto river, Spain) *Water Research* 34: (12) 3222-3230, 2000.
- [8] Webster JG The source of arsenic (and other elements) in the Marbel-Matingao river catchment, Mindanao, Philippines *Geothermics* 28: (1) 95-111, 1999.
- [9] Nimick DA Arsenic hydrogeochemistry in an irrigated river valley - A reevaluation *Ground Water* 36: (5) 743-753, 1998.
- [10] Mori C, Orsini A, Migon C Impact of arsenic and antimony contamination on benthic invertebrates in a minor Corsican river *Hydrobiologia* 392: (1) 73-80, 1999.
- [11] Kinova, L. Relationship between trace element content in human organs and hair, *Final report Oct.84-* Sep, 88, AEA, 1976.
- [12] Gitahy, Leda; Bernardino, R. Figueiredo; Capitani, Eduardo M. Exposição Humana à Contaminação por Chumbo e Arsênio no Vale Do Ribeira (Sp-Pr), Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 1996.
- [13] Braga, B.; Hespagnol, I.; Conejo, J. G. L.; Barros, M. T. L.; Spencer, M.; Porto, M.; Nucci, N.; Juliano, N. Eiger, S. Introdução à Engenharia Ambiental – São Paulo: Prentice Hall, p.83- 87, 2002.
- [14] WHO (World Health Organization), 1991. *Inorganic Mercury Environmental Health Criteria*, vol. 118. Geneva: WHO.
- [15] Shirasaki T., Nishino I., Yamamoto K. Determination of vanadium, chromium, arsenic, selenium and molybdenum in river and lake-water samples by nitrogen microwave-induced plasma mass spectrometry *Bunseki Kagaku* 50: (9) 595-601, 2001.
- [16] Caroli, S. et al. Assessment of reference values for elements in hair of urban normal subjects. *Microchem. J.*, v. 46, p. 174-183, 1992.
- [17] Magalhães, S. B.; Brito, R. C.; Castro, E. R. Energia na Amazônia – Museu Paraense Emílio Goeldi/Universidade Federal do Pará/ Associação de Universidades Amazônicas. Belém: p.251-256, 1996.
- [18] Pozebon, D.; Dressler, V. L. & Curtius, A. J. Análise de cabelo: uma revisão dos procedimentos para a determinação de elementos traço e aplicações. *Química Nova*, v.22, n.6, São Paulo, nov./dez. 1999.
- [19] Robbins, C. R. Chemical and Physical Behavior of Human Hair, 3rd ed, Springer-Verlag, New York, 1994.