

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

MARIANA BERNARDES BORGES BENCHIMOL

**DETERMINAÇÃO DE METAIS POLUENTES EM DIFERENTES NÍVEIS TRÓFICOS
DE PEIXES COLETADOS NAS BACIAS DOS RIOS ARAGUAIA E TOCANTINS
NO ESTADO DE GOIÁS**

GOIÂNIA
2011

MARIANA BERNARDES BORGES BENCHIMOL

**DETERMINAÇÃO DE METAIS POLUENTES EM DIFERENTES NÍVEIS TRÓFICOS
DE PEIXES COLETADOS NAS BACIAS DOS RIOS ARAGUAIA E TOCANTINS
NO ESTADO DE GOIÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Produção Sustentável, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Produção Sustentável.

Orientadora: Profa. Dra. Cleonice Rocha

Co-Orientadora: Profa. Dra. Maria José Pereira Dantas

GOIÂNIA
2011

MARIANA BERNARDES BORGES BENCHIMOL

**DETERMINAÇÃO DE METAIS POLUENTES EM DIFERENTES NÍVEIS TRÓFICOS
DE PEIXES COLETADOS NAS BACIAS DOS RIOS ARAGUAIA E TOCANTINS
NO ESTADO DE GOIÁS**

APROVADO EM: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Cleonice Rocha - PUC Goiás
Orientadora

Prof. Dr. Francisco Leonardo Tejerina Garro - PUC Goiás
Avaliador Interno

Prof. Dr. José Elmo de Menezes - IFG
Avaliador Externo

Aos meus queridos pais,
Antonio Newton e Heliana, pelo
incentivo e apoio.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas conquistas obtidas;

Ao meu esposo Ranieri, pela motivação e pela determinação com que busca alcançar nossos sonhos;

Aos meus irmãos Juliana e Lucas, pela força nos momentos de dificuldade;

Aos meus avós Antonio e Alzira e à minha tia Maria, pelo carinho e orações;

Aos meus cunhados Jalles e Poliana, por estarem sempre prontos a ajudar;

Ao Edvaldo, pela amizade fraterna que me ajudou a suportar a distância de minha família;

Aos meus colegas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), pelas trocas de horários e apoio;

À Profa. Dra. Cleonice Rocha, pela orientação, dedicação e, principalmente, pela compreensão nos momentos em que não pude estar presente;

À Profa. Dra. Maria José Pereira Dantas, pela co-orientação, dedicação e pela disposição em me atender sempre que necessário, mesmo no período de férias;

Ao Prof. Dr. Affonso Celso Gonçalves Junior da Universidade Unioeste pela análise dos metais;

Ao Prof. Dr. Francisco Leonardo Tejerina Garro, pelas sugestões e contribuições a este estudo;

Ao Msc Roberto Leandro da Silva, pelas informações transmitidas;

À secretária do MEPS, Cristhiane, pela atenção e presteza;

Ao CNPq pelo financiamento do projeto;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Esse estudo foi realizado nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins, no Estado de Goiás, durante o período de estiagem, e teve como objetivo avaliar o teor de metais poluentes: alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês e zinco em diferentes níveis tróficos de peixes, bem como comparar as concentrações destes metais entre os diferentes níveis tróficos, locais de coleta e entre as duas bacias hidrográficas. As análises para a determinação da concentração dos metais foram realizadas por espectrometria de absorção atômica, modalidade chama (EAA-chama). A similaridade das concentrações medianas de metais poluentes entre os grupos tróficos, entre os locais de coleta e entre as bacias foi investigada pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. Os metais que mais contribuíram para a poluição das bacias estudadas foram o alumínio e o manganês, possivelmente em decorrência do solo típico da região (Latossolo) e do tipo de manejo próximo aos cursos d'água. As maiores concentrações de metais foram encontradas na bacia do rio Araguaia. Observou-se diferença significativa nos teores de alumínio, ferro e zinco entre as bacias. O nível trófico mais afetado pela poluição por metais foi o insetívoro. Diferença significativa nas concentrações de metais poluentes (exceto para o chumbo) entre os níveis tróficos foi verificada. Análises dos dados indicam que a fonte de contaminação dos peixes por metais é o sedimento do ambiente aquático. Resultados mostram uma possível contaminação de peixes das bacias dos rios Araguaia e Tocantins com metais poluentes. As atividades antrópicas observadas nestas bacias parecem contribuir para esses resultados.

Palavras Chave: Contaminação por metais, Contaminação de peixes, Poluição de água.

ABSTRACT

This study was conducted in the Araguaia and Tocantins basins in the State of Goiás, during the drought period, and aimed to evaluate the content of polluting metals: aluminum, cadmium, lead, copper, chromium, iron, manganese and zinc in different trophic levels of fishes, and to compare the concentrations of these metals between the different trophic levels, sampling sites and between the two basins. Tests for determining the concentration of metals were performed by atomic absorption spectrometry, flame mode (AAS-flame). The similarity of the median concentrations of metal pollutants between trophic groups, between sampling sites and between basins was investigated by nonparametric Kruskal-Wallis test. The metals that most contributed to the pollution of basins studied were aluminum and manganese, possibly due to soil typical of the region (Oxisol) and the type of handling close to watercourses. The highest concentrations of metals were found in the Araguaia basin. There was significant difference in the levels of aluminum, iron and zinc between the basins. The trophic level most affected by metal pollution was the insectivore. Significant difference in the concentrations of pollutant metals (except lead) between trophic levels was observed. The data analysis indicates that the source of metal contamination of fish is the sediment of the aquatic environment. Results show a possible contamination of fish Araguaia and Tocantins basins with metal pollutants. Human activities observed in these basins appear to contribute to these results.

Key Words: Metal contamination, Fish contamination, Water pollution.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2 METODOLOGIA	25
2.1 Pontos amostrais	25
2.2 Área de estudo	27
2.3 Coleta da ictiofauna	28
2.4 Determinação da concentração de metais poluentes	28
2.5 Análise Estatística	29
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.1 Comparação da concentração de metais entre os níveis tróficos	32
3.2 Comparação da concentração de metais entre os locais de coleta	55
3.3 Análise não-paramétrica da concentração de metais entre os níveis tróficos	69
3.4 Análise não-paramétrica da concentração de metais entre os locais de coleta	70
3.5 Análise não-paramétrica da concentração de metais entre bacias	70
CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
ANEXOS	80

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização dos pontos de coleta (círculos) nos principais cursos de água das bacias dos rios Araguaia e Tocantins, Goiás. 25
- Figura 2.** Comparação da concentração do metal cobre considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, invertívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 46
- Figura 3.** Comparação da concentração do metal ferro considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, invertívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 47
- Figura 4.** Comparação da concentração do metal manganês considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, invertívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 49
- Figura 5.** Comparação da concentração do metal zinco considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, invertívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 50
- Figura 6.** Comparação da concentração do metal chumbo considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, invertívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 51
- Figura 7.** Comparação da concentração do metal cromo considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, invertívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 53

- Figura 8.** Comparação da concentração do metal alumínio considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, invertívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 54
- Figura 9.** Comparação da concentração do metal cobre presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 56
- Figura 10.** Comparação da concentração do metal ferro presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 58
- Figura 11.** Comparação da concentração do metal manganês presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 60
- Figura 12.** Comparação da concentração do metal zinco presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 62
- Figura 13.** Comparação da concentração do metal chumbo presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 64
- Figura 14.** Comparação da concentração do metal cromo presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 66
- Figura 15.** Comparação da concentração do metal alumínio presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins. 68

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Setores industriais com maior presença de íons de metais poluentes nos efluentes. 24
- Tabela 2.** Acrônimos, coordenadas geográficas e município de localização por curso d'água amostrado das bacias dos rios Araguaia e Tocantins em Goiás. 26
- Tabela 3.** Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de metais poluentes (mg Kg^{-1}) em filé de peixes coletados na bacia do rio Araguaia, considerando-se os diferentes níveis tróficos. 33
- Tabela 4.** Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de metais poluentes (mg Kg^{-1}) em filé de peixes coletados na bacia do rio Tocantins, considerando-se os diferentes níveis tróficos. 34
- Tabela 5.** Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de cobre (mg Kg^{-1}) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins. 55
- Tabela 6.** Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de ferro (mg Kg^{-1}) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins. 57
- Tabela 7.** Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de manganês (mg Kg^{-1}) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins. 59
- Tabela 8.** Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de zinco (mg Kg^{-1}) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins. 61

- Tabela 9.** Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de chumbo (mg Kg^{-1}) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins. 63
- Tabela 10.** Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de cromo (mg Kg^{-1}) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins. 65
- Tabela 11.** Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de alumínio (mg Kg^{-1}) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins. 67
- Tabela 12.** Valores de p-value obtidos na comparação da concentração de cada metal poluente entre os níveis tróficos dos peixes coletados nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins. 69
- Tabela 13.** Valores de p-value obtidos na comparação da concentração de cada metal poluente entre os locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins onde os peixes de todos os níveis tróficos foram coletados. 70
- Tabela 14.** Valores de p-value obtidos na comparação da concentração de cada metal poluente entre os locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins onde os peixes onívoros foram coletados. 70
- Tabela 15.** Valores de p-value obtidos na comparação da concentração de cada metal poluente entre as bacias dos rios Araguaia e Tocantins. 71
- Tabela 16.** Tamanho amostral de peixes por nível trófico e por local de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins. 81
- Tabela 17.** Mediana da concentração de metais poluentes (mg Kg^{-1}) em peixes coletados nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins, considerando-se os diferentes níveis tróficos com $n \geq 3$. 82

INTRODUÇÃO

Os ambientes aquáticos são utilizados em todo o mundo com distintas finalidades, entre as quais se destacam o abastecimento de água, a irrigação e a aquicultura (SPERLING, 1993 apud MORAES e JORDÃO, 2002; MORGANO et al., 2005).

O peixe é um alimento de alto valor nutricional por possuir elevado teor de proteínas, além de diversos micronutrientes essenciais para a saúde humana. Porém, o pescado pode ser também um produto perigoso, se estiver contaminado por compostos químicos danosos.

Os riscos à saúde associados à ingestão de pescado contaminado chegam a ser de 20 a 40 vezes mais elevados do que o resultado de ingestão de água contaminada e os organismos aquáticos podem ser capazes de concentrar os metais poluentes em até dez vezes as concentrações observadas no meio ambiente (ROCHA, 1985 apud TELES et al., 2008).

Os metais têm sido considerados contaminantes relevantes, devido a sua reatividade, toxicidade e, em alguns casos, carcinogenicidade e mutagenicidade. Uma vez no ambiente, esses elementos tendem a distribuir-se nos diversos compartimentos ambientais, especialmente nos sedimentos e na biota, podendo também ser encontrados nas águas, dependendo das condições ambientais (CARMO et al., 2011). No ambiente aquático esses metais transitam por diversos níveis da cadeia trófica e acabam atingindo o homem (OLIVEIRA, 2002).

A ictiofauna das bacias dos rios Araguaia e Tocantins em Goiás é muito consumida pelas populações ribeirinhas e por turistas. Porém, pouco se conhece sobre a qualidade deste pescado quando se refere a metais tóxicos.

Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o teor de alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês e zinco em peixes de diferentes níveis tróficos, coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins no estado de Goiás, bem como comparar as concentrações destes metais entre os diferentes níveis tróficos, locais de coleta e entre as duas bacias hidrográficas.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As atitudes comportamentais do homem, desde que ele se tornou parte dominante dos sistemas, têm uma tendência em sentido contrário à manutenção do equilíbrio ambiental (MORAES e JORDÃO, 2002).

Atualmente, um dos problemas mais sérios que afetam o meio ambiente é a poluição química de natureza orgânica ou inorgânica, decorrente dos despejos residenciais e industriais (AGUIAR et al., 2002). O aumento das atividades industriais tem intensificado o problema da poluição do meio ambiente e a deterioração dos ecossistemas pelo acúmulo de metais poluentes (PINO, 2005).

Define-se como poluição qualquer alteração física, química ou biológica que produza modificação no ciclo biológico normal, interferindo na composição da fauna e da flora do meio (AGUIAR et al., 2002).

A poluição do solo e de sistemas aquáticos por metais poluentes é um fator que afeta a qualidade do meio ambiente e constitui risco eminente de intoxicação ao homem (MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006).

Os metais poluentes podem entrar nos ecossistemas aquáticos através de processos naturais como a lixiviação ou erosão do solo. Esta contaminação também ocorre por fontes antropogênicas, por meio da atividade industrial, bem como de efluentes domésticos, lamas provenientes de estações de tratamento, insumos agrícolas, descarte de produtos comerciais, queima de combustíveis fósseis e, principalmente, de mineração, fundição e refinamento, tanto nas regiões urbanas como na zona rural (MUNIZ e OLIVEIRA-FILHO, 2006; TAVARES e CARVALHO, 1992; JACKSON, 1992 apud TEIXEIRA, 2010). A contaminação do meio ambiente por metais poluentes é resultado geralmente de atividades antropogênicas (VEGLIO e ESPOSITO, 2003 apud PINO, 2005), que exercem um efeito considerável na concentração e mobilidade desses metais no meio ambiente (MILIARUM site institucional apud PINO, 2005).

A contaminação de sedimentos por metais poluentes pode degradar os sistemas aquáticos (CHARKHABIC et al., 2005 apud HONGLEI et al., 2008). Sua liberação do sedimento pode fazê-los entrar nos ecossistemas aquáticos e trazer problemas graves (RAND e PETROCELLI, 1985 apud BOOCK e NETO, 2005).

Inúmeros processos biológicos ocorrem no ambiente aquático, e podemos citar como exemplo a bioacumulação, onde substâncias dissolvidas e suspensas na água ou contidas no sedimento são absorvidas pelos organismos por difusão de soluções aquosas ou por ingestão. Esse processo ocorre em organismos aquáticos, particularmente o peixe, onde as brânquias e o trato digestivo são potenciais locais de absorção desses elementos (BJERREGAARD e ANDERSEN, 2007; CHAPMAN et al., 1996; DALLINGER et al., 1987; HAYTON e BARRON, 1990 apud PORTO e ETHUR, 2009). No processo de absorção dos metais poluentes estão envolvidas quatro possíveis rotas de absorção: 1) absorção de metais via tomada de água para peixes marinhos; 2) pele; 3) brânquias e; 4) alimentação. Ao entrar no organismo, os metais são transportados pelo sangue ligados a proteínas e acabam por acumular nas brânquias, na gordura, nos rins, no músculo e no fígado (HEATH, 1995 apud OLIVEIRA, 2002).

Os metais poluentes constituem os elementos mais perigosos que podem ser incorporados e acumulados na biota (MORGANO et al., 2005; TARIFENO-SILVA et al., 1982 apud OLIVEIRA, 2002), pois reagem com ligantes difusores, com macromoléculas e com ligantes presentes em membranas (EBRAHIMI e TAHERIANFARD, 2010) conferindo-lhes, muitas vezes, as propriedades de bioacumulação, biomagnificação na cadeia alimentar, persistência no ambiente e distúrbios nos processos metabólicos dos seres vivos (TAVARES e CARVALHO, 1992). As bioacumulações e biomagnificações se encarregam de transformar concentrações consideradas normais em concentrações tóxicas para diferentes espécies da biota e para o homem (TAVARES e CARVALHO, 1992), culminando com a ocorrência das maiores taxas de contaminação nos níveis mais altos da cadeia trófica (ROCHA et al., 1985). A persistência garante os efeitos ao longo do tempo ou de longo prazo, mesmo depois de interrompidas as emissões (TAVARES e CARVALHO, 1992).

Alguns parâmetros influenciam na acumulação e concentração dos metais poluentes nos tecidos dos organismos. Pode-se considerar como um dos mais importantes, a concentração de metal a que o organismo está exposto através da água, sedimento e alimento. Porém, outros fatores também influenciam na acumulação de metais, tais como variações sazonais, temperatura, pH, dureza da água e parâmetros bióticos, como tamanho e idade dos indivíduos, ciclo de vida e hábitos alimentares (EBRAHIMI e TAHERIANFARD, 2010; HUCHABEE et al., 1979;

KEHRIG et al., 1998; PASTOR et al., 1994 apud KEHRIG et al., 2007). Os graus de mobilidade, atividade e biodisponibilidade dos metais poluentes também dependem de fatores, como pH, temperatura, potencial redox, CTC (capacidade de troca catiônica), competição com outros metais, ligação com ânions, além da força iônica da solução do solo (EBRAHIMI e TAHERIANFARD, 2010; OLIVEIRA e COSTA, 2004).

A verificação e avaliação dos efeitos da poluição ambiental através de sistemas biológicos é chamada de bioindicação (BELMEJO e MARTOS, 2008). Entre os efeitos ecológicos de bioindicação, a bioacumulação e a bioconcentração traduzem o acúmulo do poluente nos organismos em relação à quantidade do poluente presente, respectivamente, no solo e na água. Portanto, os bioindicadores devem ter uma relevância biológica para informar sobre a possível contaminação do respectivo ecossistema. Entre os fatores que caracterizam esta relevância, um dos mais importantes é a sua posição trófica, isto é, quanto mais baixo for seu nível trófico e quanto mais ele servir de alimento para os níveis superiores da cadeia trófica, maior é a relevância biológica do organismo como bioindicador porque através de sua contaminação toda a cadeia trófica pode se contaminar (ANDRÉA, 2008).

Sendo assim, o peixe é reconhecido como organismo indicador da qualidade do ambiente quanto a metais poluentes (BRANCO, 1983; DAMATO, 1997; LINDE et al., 1998 apud OLIVEIRA, 2002) e na avaliação do seu potencial como eventual via de acesso destes metais para o homem (ROCHA et al., 1985), visto que é capaz de concentrar os metais em várias ordens de grandeza acima das concentrações encontradas na coluna d'água (KEHRIG et al., 2001 apud CARMO et al., 2011; PFEIFFER et al., 1985 apud KEHRIG et al., 2007) e é a principal via de intoxicação de seres humanos por poluentes orgânicos e inorgânicos (GUHATHAKURTA e KAVIRAI, 2000 apud CARMO et al., 2011; MACKAY, 1991 apud TELES et al., 2008).

A biota aquática responde por grande parte da reciclagem de metais retidos nos compartimentos abióticos do sistema (sedimento e material particulado em suspensão) e, conseqüentemente, constitui a principal via de exportação desses elementos do ambiente para o terrestre via teia trófica, podendo chegar até o homem (FOWLER, 1982 apud KEHRIG et al., 2007).

Os peixes, por serem consumidores e pertencerem ao nível superior do ecossistema aquático, acumulam grande quantidade de poluentes persistentes

(DIAS e TEIXEIRA FILHO, 1994 apud MÖLLERKE et al., 2003), pois é necessária muita biomassa de produtores para alimentar o topo da cadeia trófica. Assim, se muitos organismos produtores estiverem contaminados, toda a cadeia alimentar da qual eles fazem parte pode se contaminar (ANDRÉA, 2008). Isso explica a grande importância destes organismos em testes de toxicidade (DIAS e TEIXEIRA FILHO, 1994 apud MÖLLERKE et al., 2003). Análises dos músculos dos peixes são utilizadas para investigar possível transferência de metais poluentes para a população humana via consumo alimentar (LIMA JUNIOR et al., 2002).

Alguns metais como cobre, ferro e zinco são essenciais para o metabolismo dos peixes, enquanto outros, como mercúrio, cádmio, chumbo e arsênio não têm função conhecida nos sistemas biológicos. A exposição de peixes a metais poluentes pode afetar a eficiência reprodutiva da biota aquática e pode levar a uma distinção gradual de suas gerações (EBRAHIMI e TAHERIANFARD, 2010).

A avaliação dos níveis de metais poluentes em alimentos consumidos localmente é o primeiro passo para a avaliação de riscos à população humana devido à contaminação ambiental por esses metais (NIENCHESKI et al., 2001, apud CAVALCANTI, 2003). Virga et al. (2007) citam em seu trabalho que de acordo com os organismos da saúde, 90% da ingestão de metais poluentes e outros contaminantes ocorrem por meio do consumo de alimentos.

Vários fatores influenciam o grau de exposição dos indivíduos a um poluente destacando a frequência da ingestão de pescado, preferência por determinadas espécies, tamanho dos espécimes e o nível trófico (PHILLIPS et al., 1980 apud TELES et al., 2008).

No grupo dos metais poluentes estão os elementos: prata (Ag), arsênio (As), berílio (Be), bromo (Br), cádmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), ferro (Fe), flúor (F), mercúrio (Hg), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), chumbo (Pb), antimônio (Sb), selênio (Se), estanho (Sn), tálio (Tl), vanádio (V) e zinco (Zn). Estes são classificados de acordo com a sua função nos sistemas vivos em três grupos: metais essenciais (Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn) que apresentam funções biológicas conhecidas e específicas; metais tóxicos (Cd, Sn, Au, Hg, Tl, Pb, Bi e Al) e metais eventualmente presentes nas células (Rb, Cs, Sr), que não apresentam funções celulares definidas, podendo ocasionar um mau-funcionamento das mesmas (BEVERIDGE et al., 1997; MELO et al., 1999 apud TEIXEIRA, 2010). Todavia,

mesmo metais essenciais quando em excesso podem trazer danos à saúde humana (MORGANO et al., 2005).

A seguir, discutiremos sobre cada um dos metais poluentes abordados neste trabalho.

Alumínio (Al)

O alumínio é um composto neurotóxico que, a longo prazo, pode causar encefalopatia grave em pacientes que sofrem diálise renal, podendo levar a distúrbios neurológicos (REIBER et al., 1995 apud FREITAS et al., 2001). Apesar da concentração de alumínio na água ser controlada por aspectos organolépticos, há indícios do papel deste metal na incidência do mal de Alzheimer, que é uma doença cerebral degenerativa de etiologia desconhecida (FREITAS et al., 2001).

Cádmio (Cd)

O cádmio é um elemento químico não essencial e todos os seus compostos são considerados altamente tóxicos para os seres humanos (SILVA et al., 2005). É usado na produção de pigmentos, baterias, soldas, equipamentos eletrônicos, lubrificantes, acessórios fotográficos, praguicidas, etc (CASTRO, 2006). Alguns compostos são utilizados como estabilizadores para PVC (SILVA et al., 2005).

É absorvido mais facilmente pelas plantas do que outros metais, como o chumbo. Os fatores que contribuem para a presença de cádmio no solo são a utilização de água contaminada na irrigação e o uso de fertilizantes (SMOLDERS, 2001 apud SILVA et al., 2005). Pode ser liberado para o ambiente através da queima de combustíveis fósseis (CASTRO, 2006).

Está presente em águas doces em concentrações traço, geralmente inferiores a 1 mg L^{-1} (CASTRO, 2006).

O cádmio é uma substância tóxica cumulativa que afeta os rins, o metabolismo ósseo e do trato reprodutivo e também é cancerígeno. Exposição ao cádmio tem sido associada também a uma ampla gama de efeitos prejudiciais sobre a reprodução dos mamíferos (SILVA et al., 2005).

O cádmio possui uma grande mobilidade em ambientes aquáticos, é bioacumulativo e persistente no ambiente (CASTRO, 2006).

Chumbo (Pb)

O chumbo é utilizado em diversas atividades no mundo atual. Alguns exemplos são: baterias de armazenamento, revestimentos de cabos, canalizações, munições, tintas, protetores de radiação em torno de equipamentos de raios X e reatores nucleares. O óxido de chumbo é usado na produção de cristais, solda e inseticidas (SILVA et al., 2005). A queima de combustíveis fósseis é uma das principais fontes de chumbo, além da sua utilização como aditivo anti-impacto na gasolina (CASTRO, 2006).

A ingestão de chumbo pela maioria das pessoas e dos animais se dá através dos alimentos. A deposição de ar contaminado pode elevar o nível de chumbo no solo, que pode contaminar a água e, conseqüentemente, entrar nas cadeias alimentares aquáticas (SILVA et al., 2005).

O chumbo é uma substância tóxica cumulativa e afeta praticamente todos os órgãos e sistemas do corpo humano, acumulando-se nos ossos (cerca de 90%) e no sangue, podendo atravessar a barreira placentária (CASTRO, 2006). O sistema nervoso é particularmente sensível à intoxicação por chumbo. Outro órgão comumente afetado é a medula óssea (MOREIRA e MOREIRA, 2004).

Os principais efeitos adversos sobre a saúde relacionados ao chumbo são encefalopatia aguda e crônica, neuropatia periférica, anemia, prejuízo aos rins e ao desenvolvimento das células, dentes e ossos, possíveis danos à tireóide, crescimento reduzido, nefropatia e gota saturnínica, fertilidade reduzida, alta probabilidade de abortos espontâneos, contagem reduzida de espermatozoides e motilidade, carcinogênico para os animais e envolvimento epigenético na expressão do gene alterado, provável aumento na pressão sanguínea, lesões cardíacas e eletrocardiogramas anormais, cólica e capacidade funcional reduzida do citocromo P-450 para metabolizar drogas (MOREIRA e MOREIRA, 2004).

Cobre (Cu)

O cobre é muito conhecido pelo seu emprego em ligas, canos, fios elétricos e radiadores de automóveis (SARGENTELLI et al., 1996). As principais fontes desse elemento são a corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir de usos agrícolas do cobre como fungicida e pesticida no tratamento de solos e

efluentes (CASTRO, 2006). As principais fontes industriais são as indústrias de mineração, fundição, metalúrgicas (TÓTH et al., 2002 apud CASTRO, 2006), refinaria de petróleo e têxtil (CASTRO, 2006).

O excesso de cobre na dieta pode provocar inativação de enzimas, degeneração hepato-lenticular ou doença de Wilson, vômito, epilepsia, melanoma, artrite reumatóide (SARGENTELLI et al., 1996), além de danos capilares generalizados, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso central seguido de depressão (CASTRO, 2006).

Cromo (Cr)

O cromo é utilizado em ligas metálicas e em pigmentos para pinturas, cimento, papel, borracha e galvanoplastias, onde a cromação é um dos revestimentos de peças mais comuns. Outras fontes são os efluentes de curtumes e de circulação de águas de refrigeração, onde o cromo é utilizado para o controle da corrosão (CASTRO, 2006).

A exposição humana e de outros organismos pode se dar através da ingestão pelo ar, pelos alimentos, pela água e pelo contato com a pele (CASTRO, 2006).

O cromo hexavalente é o mais perigoso para a saúde humana, podendo causar alergias, dores e úlceras estomacais, problemas respiratórios, enfraquecimento do sistema imunológico, danos aos rins e fígado, alterações genéticas, câncer de pulmão e morte (CASTRO, 2006; AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY e LENNTECH site institucional apud PINO, 2005).

O cromo acumula-se com frequência em organismos aquáticos, tornando perigosa a ingestão de peixes que tenham sido expostos a altos níveis do elemento. Do ponto de vista ambiental, as plantas contêm sistemas que impedem que a entrada de cromo em seus tecidos seja alta, mas quando a concentração desse elemento aumenta no solo, pode haver uma elevação de concentração nos vegetais. A acidificação do solo pode também influenciar a absorção de cromo pelas plantas (CASTRO, 2006).

Ferro (Fe)

Encontrado na carne, em produtos naturais, batatas e vegetais, o ferro é o elemento essencial da hemoglobina (CASTRO, 2006).

Inalação crônica e excessiva de vapores de ferro pode causar siderose (pneumoconiose benigna). Inalação de óxidos de ferro concentrados pode aumentar o risco de câncer de pulmão (CASTRO, 2006).

Quanto ao ferro o estado de oxidação (Fe^{2+} e Fe^{3+}) e suas propriedades físicas e químicas determinam sua disponibilidade no meio ambiente e biota. As condições anóxicas proporcionam condições para que o ferro sofra mudanças no número de oxidação em seu contato com a coluna d'água, disponibilizando-o ou não para o ecossistema (AZEVEDO e CHASIN, 2003 apud SILVA et al., 2010).

Manganês (Mn)

Muito disseminado no ambiente. Está presente em alimentos, como: espinafre, chá, ervas, soja, arroz, ovos, castanhas, azeite de oliva, feijão verde e ostras (CASTRO, 2006).

O manganês é essencial ao corpo humano, porém é tóxico em altas concentrações. Após absorção pelo corpo, é transportado pelo sangue até o fígado, rins, pâncreas e glândulas endócrinas (CASTRO, 2006).

Os efeitos deletérios ocorrem principalmente no trato respiratório e cérebro. Os sintomas são: alucinações, perda de memória e danos ao sistema nervoso. Pode causar Mal de Parkinson, embolia pulmonar e bronquite, dores nas pernas, paralisia, além de impotência masculina. Pode causar ainda uma síndrome caracterizada por esquizofrenia, lentidão, fraqueza muscular, dores de cabeça e insônia (CASTRO, 2006).

A falta de manganês no organismo humano pode causar obesidade, intolerância à glicose, embolia, problemas de pele, baixos níveis de colesterol, desordens esqueléticas, defeitos congênitos, mudanças na coloração dos cabelos, sintomas neurológicos (CASTRO, 2006).

O manganês possui propriedades químicas em que pequenas mudanças na variação de pH, potencial redox, variações de oxigênio dissolvido e salinidade, contribuem de forma efetiva para o aumento de sua disponibilidade no ambiente (SILVA et al., 2010).

Zinco (Zn)

Substância muito comum, o zinco pode ser encontrado em água potável, no ar, no solo e em muitos alimentos (CASTRO, 2006; LENNTECH site institucional

apud PINO, 2005). O zinco é liberado no ambiente por processos naturais, mas a maior parte é liberada por atividades humanas como a mineração, a produção de aço, a queima de derivados do petróleo e a incineração de resíduos (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY e LENNTECH site institucional apud PINO, 2005). Efluentes de indústrias (mineração, combustão do carvão e de lixo e siderurgia) ou lixo tóxico podem acarretar aumento na água potável, levando a problemas de saúde. O zinco adere-se ao solo, sedimentos e partículas de pó no ar. Dependendo do tipo de solo alguns compostos de zinco podem mobilizar-se para águas subterrâneas, lagoas e rios (CASTRO, 2006; AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY e LENNTECH site institucional apud PINO, 2005).

O zinco é um componente das enzimas que conduzem o CO₂ desde os tecidos até os pulmões, sendo por esta razão um elemento fundamental para a vida dos seres humanos (LENNTECH site institucional apud PINO, 2005). A ingestão insuficiente de zinco pode causar perda de apetite, do paladar e do olfato, dificuldades de cicatrização de ferimentos, problemas de pele e até defeitos fetais (CASTRO, 2006).

Os efeitos não favoráveis à saúde humana se dão pela exposição ao zinco em altas quantidades, que pode causar dores de estômago, irritações de pele, vômitos, náusea, anemia, danos ao pâncreas, distúrbios no metabolismo de proteínas e arteriosclerose (CASTRO, 2006; AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY apud PINO, 2005). Quando ocorre a exposição a grandes quantidades por períodos prolongados, pode haver a ocorrência de anemia e esterilidade (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY apud PINO, 2005). Exposição prolongada ao cloreto de zinco pode causar desordens respiratórias. Exposição ocupacional pode causar a “febre do metal”. O zinco atravessa a barreira placentária, podendo causar problemas ao feto e ao recém-nascido, através do leite materno contaminado (CASTRO, 2006).

O zinco possui características específicas de seu grupo, como por exemplo, ligações fracas, que o disponibilizam facilmente para o ambiente (LEE, 1980 apud SILVA et al., 2010), podendo assim, aumentar a acidez das águas (CASTRO, 2006) e se acumular em peixes e outros organismos (CASTRO, 2006; AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY e LENNTECH site institucional apud PINO, 2005).

Observamos que os metais associados com áreas de desenvolvimento industrial incluem: arsênio, cádmio, cromo, ferro, níquel, chumbo, zinco e mercúrio. A Tabela 1 apresenta os setores industriais que têm uma maior descarga de íons de metais poluentes em seus efluentes (VOLESKY, 2001 apud PINO, 2005).

Tabela 1. Setores industriais com maior presença de íons de metais poluentes nos efluentes.

Indústria	Metal
Operações de mineração	Cu, Zn, Pb, Mn, U, Cr, As, Se, V
Operações de eletrodeposição	Cr, Ni, Cd, Zn
Processamento do metal	Cu, Zn, Mn
Geração de energia	Cu, Cd, Mn, Zn
Indústria nuclear	U, Th, Ra, Sr, Eu, Am
Operações especiais	Hg, Au, e metais preciosos

2 METODOLOGIA

2.1 PONTOS AMOSTRAIS

A amostragem da ictiofauna para determinação dos metais poluentes foi realizada em cursos d'água das bacias dos rios Araguaia e Tocantins, no Estado de Goiás (Figura 1; Tabela 2). A fim de se evitar os efeitos de diluição provocados pelo período chuvoso, que afetam as concentrações de contaminantes, a coleta das amostras foi realizada no período de estiagem (abril a setembro) por uma equipe da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás).

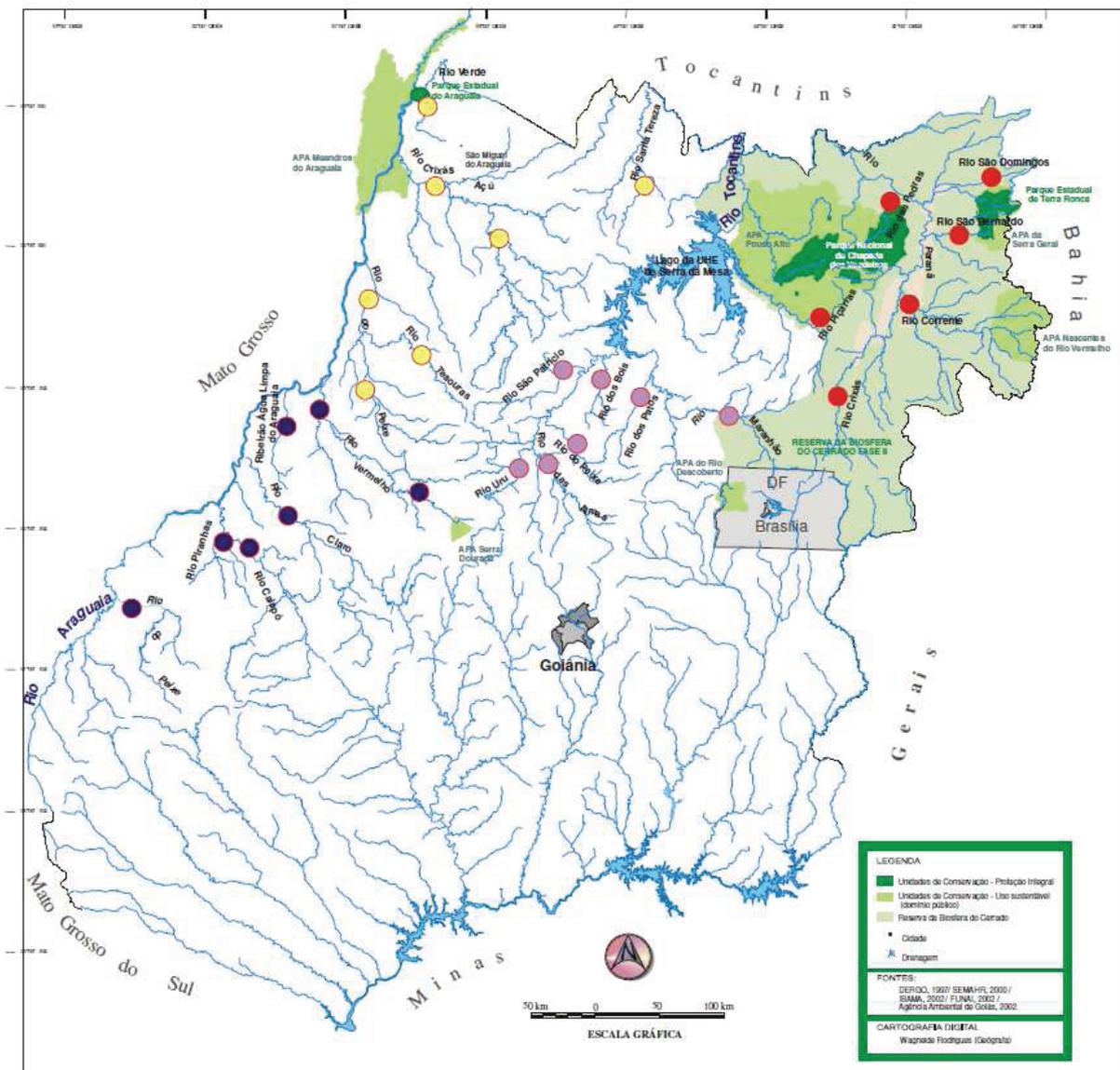


Figura 1. Localização dos pontos de coleta (círculos) nos principais cursos de água das bacias dos rios Araguaia e Tocantins, Goiás.

Fonte: Agência Ambiental do Estado de Goiás (2002) (Modificado).

Tabela 2. Acrônimos, coordenadas geográficas e município de localização por curso d'água amostrado das bacias dos rios Araguaia e Tocantins em Goiás.

Bacia	Curso d'água	Acrônimo	Coordenadas geográficas		Município
			S	O	
Araguaia	Rio dos Bois	ABG	14°10'32,7"	49°33'25,3"	Campos Verdes
Araguaia	Rio Verde	ARV	13°03'25,0"	50°26'20,7"	São Miguel do Araguaia
Araguaia	Rio do Peixe Osvaldo	APO	15°01'32,7"	50°47'51,1"	Araguapaz
Araguaia	Córrego Moenda	ACM	13°55'14,4"	50°29'59,0"	Nova Crixás
Araguaia	Rio Peixe Maura	ARP	14°20'47,5"	50°46'32,7"	Nova Crixás
Araguaia	Rio Crixás-Mirim	ARM	13°56'03,6"	50°32'17,2"	Mundo Novo
Araguaia	Córrego de Dona Gercina	ADG	14°10'40,4"	49°33'15,4"	Campos Verdes
Araguaia	Córrego C3	AC3	15°06'30,1"	51°05'27,3"	Aruanã
Araguaia	Rio Vermelho Britânia	AVB	15°10'19,5"	51°09'28,1"	Britânia
Araguaia	Córrego C7	AC7	14°55'14,0"	50°18'18,6"	Mozarlândia, Crixás, Araguapaz
Araguaia	Córrego C1	AC1	16°22'17,5"	51°47'53,3"	Piranhas
Araguaia	Córrego Taquari	ACT	15°43'49,5"	50°35'27,3"	Goiás
Araguaia	Ribeirão Água Limpa	AAL	15°18'06,7"	51°23'34,4"	Jussara
Araguaia	Rio Caiapó	ARC	16°18'14,9"	51°28'06,4"	Arenópolis
Araguaia	Rio Claro	ACL	15°56'04,9"	51°19'21,4"	Montes Claros de Goiás
Araguaia	Rio Piranhas	API	16°18'05,7"	51°50'26,2"	Piranhas
Araguaia	Rio Tesoura	ATS	14°55'33,1"	50°18'24,1"	Mozarlândia, Crixás, Araguapaz
Araguaia	Rio Vermelho Itapirapuã	AIT	15°43'49,1"	50°35'51,7"	Itapirapuã
Tocantins	Córrego Bom Jesus	TBJ	15°02'56,3"	46°16'49,0"	Padre Bernardo
Tocantins	Córrego Palmital	TPA	15°15'24,7"	49°25'57,9"	Santa Isabel
Tocantins	Córrego Porquinhos	TPO	15°15'24,7"	49°25'57,9"	Santa Isabel
Tocantins	Córrego Pouso Alegre	TAL	15°07'34,4"	48°50'08,4"	Barro Alto
Tocantins	Ribeirão São Patricinho I	TSP	14°56'44,7"	49°32'49,0"	Itapaci
Tocantins	Rio Corrente	TRC	14°18'54,6"	46°55'26,1"	Posse
Tocantins	Rio das Almas	TAA	15°29'49,7"	49°31'08,0"	Rianópolis
Tocantins	Rio das Pedras II	TPP	13°36'51,6"	47°04'00,0"	Nova Roma
Tocantins	Rio do Peixe	TRP	15°15'21,3"	49°25'54,1"	Santa Isabel
Tocantins	Rio dos Bois	TRB	14°55'21,9"	49°05'57,0"	Santa Rita do Novo Destino
Tocantins	Rio dos Patos	TRP	15°05'30,6"	48°51'16,1"	Barro Alto
Tocantins	Rio Maranhão	TMA	15°07'08,5"	48°15'47,1"	Padre Bernardo
Tocantins	Rio São Domingos	TSD	13°28'28,1"	46°34'20,9"	São Domingos
Tocantins	Rio Uru	TUR	15°30'16,4"	49°41'56,1"	Uruana

2.2 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Tocantins possui uma vazão média anual de 10.900 m³/s, volume médio anual de 344 km³ e uma área de drenagem de 767.000 km², que representa 7,5% do território nacional. Aproximadamente 64% da área do estado de Goiás, 13% do estado de Mato Grosso e 13% da superfície do Distrito Federal estão situados nos domínios dessa bacia (HOGAN et al., 2000).

A bacia do rio Araguaia possui uma área de drenagem de aproximadamente 386.500 km² e extensão de 2.600 km até a sua foz com o rio Tocantins. Está totalmente inserida no território brasileiro, abrangendo os estados de Goiás, Mato Grosso, Tocantins e Pará. O Araguaia é um rio de planície inundável, nasce a 850 m de altitude na cadeia de montanhas do Caiapó, entre os estados de Goiás e Mato Grosso (ANA, 2006; AQUINO et al., 2008).

O clima da região é tropical com temperatura média anual de 26°C e precipitação média anual de 1.837 mm. Há dois períodos climáticos bem definidos: estação chuvosa, que ocorre de outubro a abril, e estação seca que se prolonga de maio a setembro. Os solos mais comuns na região são caracterizados pela baixa fertilidade e necessidade de correção e adubação para o uso agrícola (ANA, 2008).

A bacia Tocantins-Araguaia apresenta algumas situações críticas como os aspectos demográficos da região, onde se constata índices de urbanização em torno de 60%. As principais áreas urbanas estão localizadas no sul da bacia, principalmente no eixo que une o entorno das regiões metropolitanas de Goiânia e Distrito Federal até Palmas. Nessas áreas, os principais problemas podem estar relacionados à disposição de efluentes, uma vez que aproximadamente 90% dos domicílios não são atendidos por sistemas adequados de redes de esgoto (HOGAN et al., 2000).

A agricultura moderna e a agropecuária são algumas das atividades econômicas que causam maiores impactos sobre os recursos hídricos (OLIVEIRA-FILHO e LIMA, 2002), pois causam o comprometimento da biodiversidade, o assoreamento e surgimento de processos erosivos e a contaminação dos solos e águas por fertilizantes e agrotóxicos (CASTRO, 2005 apud MASCARENHAS et al., 2009). Na bacia Tocantins-Araguaia tem sido observado um aumento expressivo de pastagens plantadas, ocupando cerca de 27% da bacia e que tem crescido a uma taxa anual de 3,9% (HOGAN et al., 2000).

2.3 COLETA DA ICTIOFAUNA

As coordenadas geográficas dos locais de coleta foram obtidas utilizando-se um GPS (Garmin 12).

Em rios e ribeirões, os peixes foram coletados por meio de rede de espera entre 17:00 h e 7:00 h. Enquanto para riachos, usou-se rede de arrasto que foi passada por dez vezes em cada trecho amostrado.

Dos peixes coletados em cada rio foi escolhida uma espécie representante dos grupos tróficos: detritívoro (consumidores de lodo e matéria orgânica), herbívoro (consome plantas ou algas), invertívoro (consome invertebrados de diversos tipos), insetívoro (consumidores de insetos), piscívoro (consome outros peixes), carnívoro e onívoro (alimentam-se de tecidos animais e vegetais), permitindo, desta maneira, avaliar a presença de metais originários do substrato, das plantas e dos próprios peixes. Os grupos tróficos de cada espécie de peixe coletado foram obtidos a partir da literatura (FROESE e PAULY, 2010; MELO et al., 2005; SANTOS et al., 2004).

De cada espécie, foram coletadas amostras em triplicata, e em campo um pedaço de músculo branco do tronco (filé) foi armazenado em saco plástico rotulado e congelado até ser utilizado para extração dos metais no laboratório.

Tanto águas, materiais particulados, sedimentos como organismos aquáticos têm sido utilizados na determinação de metais poluentes, sendo que os três últimos compartimentos bióticos são preferíveis devido às facilidades de coleta, estocagem e tratamento das amostras (minimização de contaminação ou perdas), e às maiores concentrações encontradas, dispensando tarefas de pré-concentração e facilitando os procedimentos de análise (PHILLIPS, 1977; SALOMONS e FÖRSTNER, 1984 apud JESUS et al., 2004).

2.4 DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS POLUENTES

Os peixes foram submetidos inicialmente a liofilização e posteriormente a um protocolo para extração de metais, seguindo os procedimentos a seguir. Foi pesado 1,0 g de amostras secas, adicionados 5,0 mL de HNO₃ (1:1) e aquecidas em bloco digestor por 10 minutos a 95±5°C.

As amostras foram resfriadas naturalmente e após o equilíbrio da temperatura foram adicionadas mais 15 mL de HNO₃. As amostras foram novamente aquecidas a 95±5°C por 12 horas.

Após a segunda etapa de digestão, ao resfriar foram adicionadas 1,0 mL de água destilada e 3,0 mL de H_2O_2 , em seguida as amostras foram aquecidas por 1 hora a $95\pm 5^\circ C$. Com o resfriamento total foram adicionadas 6 parcelas de 1,0 mL de H_2O_2 até a solução não mais apresentar reação frente ao peróxido de hidrogênio e não mais mudar de cor (EPA, 1995).

As amostras digeridas foram encaminhadas ao Laboratório de Química Agrícola e Ambiental da Universidade do Oeste do Paraná (UNIOESTE-PR) campus Marechal Cândido Rondon para a determinação da concentração dos metais nas amostras de peixes. As análises foram realizadas por espectrometria de absorção atômica, modalidade chama (EAA–chama), utilizando curvas com padrões certificados para todos os metais de acordo com a metodologia proposta por Welz (1985). A espectrometria de absorção atômica é uma técnica freqüentemente aplicada para a determinação dos metais cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, níquel, zinco e mercúrio (LIMA JUNIOR et al., 2002).

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Apesar de muitos trabalhos realizarem a análise descritiva utilizando a média aritmética dos dados encontrados, optou-se neste estudo, por não utilizar esta medida de tendência central. Tal decisão se dá em razão do tamanho da amostra para alguns níveis tróficos e para a maioria dos locais de coleta (Anexo A). As amostragens pequenas são comuns em estudos que trabalham com elementos biológicos coletados em habitat natural, pois nem sempre é possível capturar um grande número de espécimes.

Além disso, foram observadas diferenças relevantes entre o valor mínimo e o valor máximo de concentração de metais presentes nos peixes coletados. Estas diferenças são típicas do tipo de análise, pois na coleta aleatória da ictiofauna, pode-se capturar peixes com elevada concentração de metal e peixes com teor de metal extremamente baixo, ou seja, que não tenham ingerido alimento contaminado pelo metal poluente. Em virtude destas diferenças e do tamanho amostral, a utilização da média como medida descritiva dos dados não é viável, visto que em muitos casos teríamos um desvio-padrão maior que a média e, portanto, uma não representação da realidade dos valores obtidos.

Diante das características dos dados amostrais, a análise descritiva foi feita considerando-se os valores mínimos e máximos da concentração de metais poluentes em filé de peixes coletados nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

Algumas considerações devem ser tomadas antes de realizar os métodos estatísticos, como: os erros das medidas devem ser aleatórios, a variação das concentrações não é decorrente da incerteza das medidas e o número de amostras deve ser maior que o número de variáveis (JOHNSON e WICHERN, 1999 apud MENDONÇA, 2006).

Inicialmente, os valores de metais encontrados foram analisados por um teste paramétrico: análise de variância (ANOVA) multifatores. Os pressupostos de normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (teste de Barlett) foram avaliados. No entanto, os resultados da tradicional análise de variância multifatores não foram conclusivos, uma vez que os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias não se verificaram.

Dessa forma, a análise da quantidade dos metais considerando-se os diferentes níveis tróficos e locais de coleta foi realizada através de um teste não paramétrico: Kruskal-Wallis. Este teste é um procedimento anova livre de distribuição. É utilizado para comparar populações preferencialmente com amostras aleatórias de mesmo tamanho, tamanho esse determinado de acordo com o poder do teste que se deseja. O ideal é um número de amostras maior ou igual a seis para cada população. A análise de variância por postos de Kruskal-Wallis é utilizada para testar a similaridade das medianas entre grupos e foi utilizada neste estudo com o objetivo de verificar existência ou não de diferença significativa na concentração de metais poluentes entre os níveis tróficos, entre os locais de coleta e entre as duas bacias estudadas.

Todas as análises estatísticas e os gráficos boxplot foram realizados através do software R, que é uma linguagem e ambiente para computação estatística e gráfica de domínio público.

O boxplot é um gráfico que possibilita representar a distribuição de um conjunto de dados com base em alguns de seus parâmetros descritivos: mediana (q_2), quartil inferior (q_1), quartil superior (q_3) e intervalo interquartil ($IQR = q_3 - q_1$). Este gráfico permite avaliar a simetria dos dados, sua dispersão e a existência ou não de outliers (HUBERT e VANDERVIJREN, 2008).

A comparação gráfica da quantidade dos metais contaminantes foi feita por meio de gráficos tipo boxplot. A linha horizontal destacada em vermelho representa o valor do limite máximo de tolerância estabelecido em legislações para contaminantes inorgânicos em peixes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS ENTRE OS NÍVEIS TRÓFICOS

Observando os resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4, verifica-se que a concentração de cobre entre os níveis tróficos de peixes coletados em afluentes do rio Araguaia variou entre $< \text{L.D.}$ (herbívoros, invertívoros, insetívoros, piscívoros e onívoros) e $103,90 \text{ mg kg}^{-1}$ (um peixe de hábito alimentar onívoro). Para os peixes coletados em afluentes do rio Tocantins, o teor de cobre entre os grupos tróficos variou entre $< \text{L.D.}$ (insetívoros e onívoros) e $10,00 \text{ mg kg}^{-1}$ (um peixe de hábito alimentar detritívoro).

Fazendo uma análise da concentração de cobre, verifica-se que o teor deste metal em peixes detritívoros coletados na bacia do rio Araguaia variou entre $0,50 \text{ mg kg}^{-1}$ e $7,09 \text{ mg kg}^{-1}$. Já na bacia do rio Tocantins, a oscilação foi entre $0,50 \text{ mg kg}^{-1}$ e $10,00 \text{ mg kg}^{-1}$. Neste nível trófico, a maior concentração de cobre foi encontrada na bacia do rio Tocantins.

Foi coletado apenas um representante herbívoro em cada bacia. Considerando-se esta amostragem, percebe-se que o peixe herbívoro coletado na bacia do rio Tocantins também apresenta um teor de cobre maior que o capturado na bacia do rio Araguaia. Porém, nada se pode dizer a respeito da contaminação das duas bacias neste nível trófico, tendo em vista o tamanho amostral pequeno ($n=1$).

No grupo trófico invertívoro, a variação do teor de cobre foi entre $< \text{L.D.}$ e $3,19 \text{ mg kg}^{-1}$ na bacia do rio Araguaia e entre $0,49 \text{ mg kg}^{-1}$ e $1,49 \text{ mg kg}^{-1}$ na bacia do rio Tocantins. Percebe-se uma oscilação relativamente pequena entre os valores encontrados nas duas bacias. Provavelmente, os locais onde estes peixes invertívoros foram coletados apresentam características semelhantes. Neste nível trófico, o maior teor de cobre foi encontrado na bacia do rio Araguaia.

Tabela 3. Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de metais poluentes (mg Kg^{-1}) em filé de peixes coletados na bacia do rio Araguaia, considerando-se os diferentes níveis tróficos.

Metal Poluente (mg Kg^{-1})	Parâmetros Descritivos	Nível Trófico							
		Detritívoro	Herbívoro	Invertívoro	Insetívoro	Piscívoro	Carnívoro	Onívoro	
Cu	Mínimo	0,50	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	3,91	< L.D.	< L.D.
	Máximo	7,09	< L.D.	3,19	11,68	1,50	3,94	103,90	
	n	10	1	4	18	21	2	21	
Fe	Mínimo	39,43	26,36	23,36	13,96	8,50	70,45	17,48	
	Máximo	3351,06	26,36	874,84	2759,42	120,31	110,24	6402,60	
	n	10	1	4	18	21	2	21	
Mn	Mínimo	3,99	0,99	5,47	1,99	0,99	21,53	2,50	
	Máximo	127,66	0,99	91,19	200,62	27,93	25,59	402,60	
	n	10	1	4	18	21	2	21	
Zn	Mínimo	36,93	8,95	22,36	15,45	5,50	94,49	15,98	
	Máximo	228,72	8,95	162,84	450,07	233,77	126,22	1805,19	
	n	10	1	4	18	21	2	21	
Cd	Mínimo	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	
	Máximo	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	
	n	10	1	4	18	21	2	21	
Pb	Mínimo	2,50	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	12,72	< L.D.	
	Máximo	24,82	< L.D.	41,51	70,09	12,97	25,59	233,77	
	n	10	1	4	18	21	2	21	
Cr	Mínimo	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	
	Máximo	19,50	< L.D.	< L.D.	10,66	3,49	< L.D.	2,98	
	n	10	1	4	18	21	2	21	
Al	Mínimo	9,48	6,47	17,39	< L.D.	2,50	61,64	3,85	
	Máximo	6395,39	6,47	354,41	1044,78	58,41	385,83	2311,69	
	n	10	1	4	18	21	2	21	

< L.D. = menor que o limite de detecção

Tabela 4. Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de metais poluentes (mg Kg^{-1}) em filé de peixes coletados na bacia do rio Tocantins, considerando-se os diferentes níveis tróficos.

Metal Poluente (mg Kg^{-1})	Parâmetros Descritivos	Nível Trófico					
		Detritívoro	Herbívoro	Invertívoro	Insetívoro	Piscívoro	Onívoro
Cu	Mínimo	0,50	0,47	0,49	< L.D.	0,50	< L.D.
	Máximo	10,00	0,47	1,49	9,19	2,99	2,81
	n	4	1	4	8	3	14
Fe	Mínimo	126,61	47,57	99,94	58,08	49,45	53,65
	Máximo	984,00	47,57	378,20	1255,71	563,22	4052,42
	n	4	1	4	8	3	14
Mn	Mínimo	11,46	3,30	8,47	10,67	3,00	7,47
	Máximo	229,00	3,30	15,49	73,53	37,84	192,00
	n	4	1	4	8	3	14
Zn	Mínimo	76,26	55,58	59,29	42,68	31,96	34,88
	Máximo	87,06	55,58	78,94	525,11	85,65	340,60
	n	4	1	4	8	3	14
Cd	Mínimo	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
	Máximo	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
	n	4	1	4	8	3	14
Pb	Mínimo	5,97	2,35	1,99	< L.D.	< L.D.	< L.D.
	Máximo	8,45	2,35	6,99	26,22	9,46	23,79
	n	4	1	4	8	3	14
Cr	Mínimo	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
	Máximo	7,50	< L.D.	< L.D.	< L.D.	0,99	0,56
	n	4	1	4	8	3	14
Al	Mínimo	49,35	22,14	4,98	< L.D.	29,97	9,00
	Máximo	2168,00	22,14	270,78	754,39	301,85	2848,00
	n	4	1	4	8	3	14

< L.D. = menor que o limite de detecção

Para os peixes insetívoros, observa-se uma grande variação na concentração de cobre. Em afluentes do rio Araguaia, a oscilação foi entre $< \text{L.D.}$ e $11,68 \text{ mg kg}^{-1}$ e nos afluentes do rio Tocantins, a variação foi entre $< \text{L.D.}$ e $9,19 \text{ mg kg}^{-1}$. Esta variação pode ser decorrente das características específicas de cada local onde estes peixes foram capturados. Por mais que as características dos afluentes das bacias dos rios Araguaia e Tocantins sejam semelhantes, podem existir diferenças no tratamento das pastagens e culturas agrícolas próximas a estes afluentes. Em determinadas áreas, pode haver uma maior utilização de fertilizantes e agrotóxicos do que em outras áreas, já que estas práticas dependem da educação ambiental que cada um tem.

No grupo trófico piscívoro, a oscilação do teor de cobre foi entre $< \text{L.D.}$ e $1,50 \text{ mg kg}^{-1}$ na bacia do rio Araguaia e entre $0,50 \text{ mg kg}^{-1}$ e $2,99 \text{ mg kg}^{-1}$ na bacia do rio Tocantins. Percebe-se uma maior concentração deste metal na bacia do rio Tocantins.

Foram coletados peixes carnívoros apenas em um afluente do rio Araguaia. Talvez, em decorrência deste fato, os valores de cobre neste nível trófico foram bem próximos, variando de $3,91 \text{ mg kg}^{-1}$ a $3,94 \text{ mg kg}^{-1}$.

Para o nível trófico onívoro, a oscilação foi maior na bacia do rio Araguaia. Em afluentes desta bacia, o teor de cobre variou entre $< \text{L.D.}$ e $103,90 \text{ mg kg}^{-1}$. Já na bacia do rio Tocantins, a variação foi entre $< \text{L.D.}$ e $2,81 \text{ mg kg}^{-1}$.

Para o metal ferro (Tabelas 3 e 4), verifica-se que sua concentração variou entre $8,50 \text{ mg kg}^{-1}$ (piscívoro) e $6402,60 \text{ mg kg}^{-1}$ (onívoro), considerando-se os diferentes níveis tróficos de peixes coletados na bacia do rio Araguaia. Para a bacia do rio Tocantins, a oscilação da concentração de ferro foi entre $47,57 \text{ mg kg}^{-1}$ (herbívoros) e $4052,42 \text{ mg kg}^{-1}$ (onívoro).

Analisando a concentração de ferro em cada nível trófico, observa-se uma grande variação no teor deste metal em quase todos os grupos tróficos estudados (detritívoro, invertívoro, insetívoro, piscívoro e onívoro).

Como não existe uma diversidade de atividades nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins, esta oscilação da concentração de ferro sugere diferenças nas características físico-químicas dos solos e sedimentos que compõem a região das bacias, em Goiás. Sabe-se que latossolos, solos típicos da região estudada, são ricos em ferro (BURAK et al., 2010). Além disso, as diferenças na concentração de ferro podem ser devido a idade e tamanho dos peixes coletados.

Para o grupo trófico carnívoro, percebe-se uma pequena variação no teor de ferro. Este fato se dá em razão de que peixes deste hábito alimentar foram coletados em apenas um afluente do rio Araguaia (Rio Verde). Os valores de ferro neste nível trófico variaram de 70,45 mg kg⁻¹ a 110,24 mg kg⁻¹.

Foi coletado apenas um representante herbívoro em cada bacia. Considerando-se esta amostragem, percebe-se que o peixe herbívoro coletado na bacia do rio Tocantins apresenta um teor de ferro maior que o capturado na bacia do rio Araguaia.

Analisando a concentração de manganês entre os grupos tróficos (Tabelas 3 e 4), observa-se que o teor deste metal variou entre 0,99 mg kg⁻¹ (piscívoro) e 402,60 mg kg⁻¹ (onívoro) em peixes coletados na bacia do rio Araguaia e entre 3,00 mg kg⁻¹ (piscívoro) e 229,00 mg kg⁻¹ (detritívoro) em peixes coletados na bacia do rio Tocantins.

Verifica-se que o teor de manganês em peixes detritívoros coletados na bacia do rio Araguaia variou entre 3,99 mg kg⁻¹ e 127,66 mg kg⁻¹. Já na bacia do rio Tocantins, a oscilação foi entre 11,46 mg kg⁻¹ e 229,00 mg kg⁻¹. Neste nível trófico, a maior concentração de manganês foi encontrada na bacia do rio Tocantins.

Foi coletado apenas um peixe herbívoro em cada bacia. Considerando-se esta amostragem, percebe-se que o peixe herbívoro coletado na bacia do rio Tocantins também apresenta um teor de manganês maior que o capturado na bacia do rio Araguaia. Porém, como já foi dito anteriormente, nada se pode dizer a respeito da contaminação das duas bacias neste nível trófico, tendo em vista o tamanho amostral pequeno (n=1).

No grupo trófico invertívoro, a variação do teor de manganês foi entre 5,47 mg kg⁻¹ e 91,19 mg kg⁻¹ na bacia do rio Araguaia e entre 8,47 mg kg⁻¹ e 15,49 mg kg⁻¹ na bacia do rio Tocantins. Percebe-se uma oscilação relativamente pequena entre os valores encontrados na bacia do rio Tocantins. Provavelmente, os afluentes do rio Tocantins onde estes peixes invertívoros foram coletados apresentam características semelhantes. Neste nível trófico, o maior teor de manganês foi encontrado na bacia do rio Araguaia.

Nos peixes insetívoros, a oscilação de manganês foi entre 1,99 mg kg⁻¹ e 200,62 mg kg⁻¹ em afluentes do rio Araguaia e entre 10,67 mg kg⁻¹ e 73,53 mg kg⁻¹ nos afluentes do rio Tocantins. Observa-se uma maior concentração deste metal na bacia do rio Araguaia.

No grupo trófico piscívoro, a oscilação do teor de manganês foi entre 0,99 mg kg⁻¹ e 27,93 mg kg⁻¹ na bacia do rio Araguaia e entre 3,00 mg kg⁻¹ e 37,84 mg kg⁻¹ na bacia do rio Tocantins. Percebe-se uma maior concentração deste metal na bacia do rio Tocantins.

Foram coletados peixes carnívoros em apenas um afluente do rio Araguaia. Talvez, em decorrência deste fato, os valores de manganês neste nível trófico foram bem próximos, variando de 21,53 mg kg⁻¹ a 25,59 mg kg⁻¹.

Para o nível trófico onívoro, a oscilação foi maior na bacia do rio Araguaia. Em afluentes desta bacia, o teor de manganês variou entre 2,5 mg kg⁻¹ e 402,60 mg kg⁻¹. Já na bacia do rio Tocantins, a variação foi entre 7,47 mg kg⁻¹ e 192,00 mg kg⁻¹.

Observando a descrição realizada acima, verifica-se uma oscilação considerável da concentração de manganês em quase todos os níveis tróficos pesquisados, como: detritívoro, invertívoro (bacia do rio Araguaia), insetívoro, piscívoro e onívoro. Esta variação pode ser decorrente das características específicas de cada local onde estes peixes foram capturados, visto que pequenas mudanças na variação de pH, potencial redox e variações de oxigênio dissolvido, contribuem de forma efetiva para o aumento da disponibilidade de manganês no ambiente (SILVA et al., 2010). O aumento na disponibilidade de manganês também está ligado à deposição de lixo doméstico diretamente no solo sem nenhum tipo de tratamento (SANTANA e BARRONCAS, 2007) e ao uso de fertilizantes e pesticidas nas atividades de agricultura (RAMALHO et al., 2000; SANTOS et al., 2008). Assim, por mais que as atividades desenvolvidas próximas aos afluentes das bacias dos rios Araguaia e Tocantins sejam semelhantes, podem existir diferenças no tratamento das culturas agrícolas próximas a estes afluentes.

Para o metal contaminante zinco (Tabelas 3 e 4), verifica-se que a concentração entre os níveis tróficos de peixes coletados em afluentes do rio Araguaia oscilou entre 5,50 mg kg⁻¹ (piscívoro) e 1805,19 mg kg⁻¹ (onívoro). Para os peixes coletados em afluentes do rio Tocantins, o teor de zinco entre os grupos tróficos variou entre 31,96 mg kg⁻¹ (piscívoro) e 525,11 mg kg⁻¹ (insetívoro).

Fazendo uma análise da concentração de zinco por nível trófico, verifica-se que o teor deste metal em peixes detritívoros coletados na bacia do rio Araguaia variou entre 36,93 mg kg⁻¹ e 228,72 mg kg⁻¹. Já na bacia do rio Tocantins, a oscilação foi entre 76,26 mg kg⁻¹ e 87,06 mg kg⁻¹. Percebe-se uma pequena variação da concentração de zinco entre os peixes coletados em afluentes do rio Tocantins,

provavelmente os locais onde estes peixes detritívoros foram coletados apresentam características físico-químicas semelhantes. Neste nível trófico, as maiores concentrações de zinco foram encontradas na bacia do rio Araguaia.

Apenas um peixe herbívoro foi capturado em cada bacia estudada. Comparando os dois representantes, verifica-se que o peixe herbívoro coletado na bacia do rio Tocantins apresenta teor de zinco maior que o capturado na bacia do rio Araguaia.

No grupo trófico invertívoro, a variação do teor de zinco foi entre 22,36 mg kg⁻¹ e 162,84 mg kg⁻¹ na bacia do rio Araguaia e entre 59,29 mg kg⁻¹ e 78,94 mg kg⁻¹ na bacia do rio Tocantins. Percebe-se uma oscilação relativamente pequena entre os valores encontrados na bacia do rio Tocantins, fato também observado para os peixes detritívoros. Uma explicação plausível para tal ocorrência seria a semelhança entre os locais de coleta. Neste nível trófico, o maior teor de zinco foi encontrado na bacia do rio Araguaia.

Para os peixes insetívoros, observa-se uma grande variação na concentração de zinco nas duas bacias estudadas. Em afluentes do rio Araguaia, a oscilação foi entre 15,45 mg kg⁻¹ e 450,07 mg kg⁻¹ e nos afluentes do rio Tocantins, a variação foi entre 42,68 mg kg⁻¹ e 525,11 mg kg⁻¹. Estes dados mostram semelhanças entre as duas bacias quando se trata de peixes desse nível trófico.

No grupo trófico piscívoro, a oscilação do teor de zinco foi entre 5,50 mg kg⁻¹ e 233,77 mg kg⁻¹ na bacia do rio Araguaia e entre 31,96 mg kg⁻¹ e 85,65 mg kg⁻¹ na bacia do rio Tocantins. Percebe-se uma maior variação e maior concentração deste metal na bacia do rio Araguaia.

Peixes carnívoros foram coletados apenas em um rio da bacia do rio Araguaia e por isso os valores de zinco encontrados neste nível trófico foram bem próximos, variando de 94,49 mg kg⁻¹ a 126,22 mg kg⁻¹.

Para o nível trófico onívoro, a oscilação foi maior na bacia do rio Araguaia. Em afluentes desta bacia, o teor de zinco variou entre 15,98 mg kg⁻¹ e 1805,19 mg kg⁻¹. Já na bacia do rio Tocantins, a variação foi entre 34,88 mg kg⁻¹ e 340,60 mg kg⁻¹.

Analisando a descrição realizada acima, observa-se uma grande variação no teor de zinco em quase todos os grupos tróficos da bacia do rio Araguaia: detritívoro, invertívoro, insetívoro, piscívoro e onívoro e em dois níveis tróficos da bacia do rio Tocantins: insetívoro e onívoro. Esta variação pode ser decorrente das características de cada local onde estes peixes foram capturados, pois dependendo

do tipo de solo alguns compostos de zinco podem mobilizar-se para os rios. O zinco possui ligações fracas e, portanto, pode ser facilmente disponibilizado para o ambiente e se acumular em peixes (CASTRO, 2006; AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY e LENNTECH site institucional apud PINO, 2005; LEE, 1980 apud SILVA et al., 2010). Além disso, o zinco pode ser disponibilizado no ambiente pela utilização de fungicidas em atividades agrícolas (Roberto Leandro da Silva – Comunicação Pessoal).

A concentração de chumbo entre os grupos tróficos (Tabelas 3 e 4) variou de < L.D. (herbívoro, invertívoro, insetívoro, piscívoro e onívoro) a 233,77 mg kg⁻¹ (onívoro) na ictiofauna coletada na bacia do rio Araguaia e entre < L.D. (insetívoro, piscívoro e onívoro) e 26,22 mg kg⁻¹ (insetívoro) nas amostras coletadas na bacia do rio Tocantins.

Verifica-se que o teor deste metal em peixes detritívoros coletados na bacia do rio Araguaia variou entre 2,50 mg kg⁻¹ e 24,82 mg kg⁻¹. Já na bacia do rio Tocantins, a oscilação foi entre 5,97 mg kg⁻¹ e 8,45 mg kg⁻¹. Nota-se uma pequena variação da concentração de chumbo nos peixes detritívoros coletados em afluentes da bacia do rio Tocantins. Neste nível trófico, a maior concentração de chumbo foi encontrada na bacia do rio Araguaia.

Conforme comentado anteriormente, apenas um peixe herbívoro foi coletado em cada bacia. Considerando-se esta amostragem, percebe-se que o peixe herbívoro coletado na bacia do rio Tocantins apresenta um teor de chumbo maior que o capturado na bacia do rio Araguaia.

No grupo trófico invertívoro, a concentração de chumbo foi menor do que 41,51 mg kg⁻¹, na bacia do rio Araguaia, e entre 1,99 mg kg⁻¹ e 6,99 mg kg⁻¹ na bacia do rio Tocantins. Observa-se uma oscilação maior entre os valores encontrados na bacia do rio Araguaia do que entre os valores encontrados na bacia do rio Tocantins. Como o tamanho amostral nas duas bacias é igual, poderíamos dizer que os locais de coleta da bacia do rio Araguaia apresentam uma heterogeneidade maior em relação à concentração de chumbo do que os rios da bacia do rio Tocantins. Neste nível trófico, o maior teor de chumbo foi encontrado na bacia do rio Araguaia.

Nos peixes insetívoros, a oscilação de chumbo foi entre < L.D. e 70,09 mg kg⁻¹ em afluentes do rio Araguaia e entre < L.D. e 26,22 mg kg⁻¹ nos afluentes do rio Tocantins. Observa-se uma maior concentração e uma maior variação deste metal na bacia do rio Araguaia.

No grupo trófico piscívoro, a oscilação do teor de chumbo foi entre < L.D. e 12,97 mg kg⁻¹ na bacia do rio Araguaia e entre < L.D. e 9,46 mg kg⁻¹ na bacia do rio Tocantins. Percebe-se uma maior concentração deste metal na bacia do rio Araguaia, apesar do valor máximo encontrado não estar tão acima do encontrado na bacia do rio Tocantins, como nos demais níveis tróficos pesquisados.

Foram coletados peixes carnívoros apenas no rio Verde da bacia do rio Araguaia. Como a amostragem deste nível trófico refere-se a apenas um local de coleta, os valores de chumbo encontrados foram bem próximos, variando de 12,72 mg kg⁻¹ a 25,59 mg kg⁻¹. A diferença do teor de chumbo entre os dois representantes deve-se à maior ingestão de alimento contaminado por chumbo por parte de um dos dois.

Para o nível trófico onívoro, a oscilação foi maior na bacia do rio Araguaia. Em afluentes desta bacia, o teor de chumbo variou entre < L.D. e 233,77 mg kg⁻¹. Já na bacia do rio Tocantins, a variação foi entre < L.D. e 23,79 mg kg⁻¹.

Analisando a descrição supra, verifica-se uma oscilação considerável da concentração de chumbo em quase todos os níveis tróficos da bacia do rio Araguaia (detritívoro, invertívoro, insetívoro, piscívoro e onívoro) e em alguns grupos tróficos da bacia do rio Tocantins (principalmente: insetívoro, piscívoro e onívoro). Esta variação pode ser decorrente das características físico-químicas de cada local onde estes peixes foram capturados. Altas concentrações de chumbo podem estar relacionadas à lixiviação do solo que, por sua vez, pode estar sendo influenciada por erosões presentes nas áreas de pastagens. Características físico-químicas do solo e da água também influenciam na disponibilidade de chumbo para o ecossistema (TEIXEIRA, 2010). Além disso, podem existir diferenças no tratamento das pastagens e dos cultivares, em relação ao uso de agrotóxicos nas atividades agrícolas desenvolvidas em torno dos afluentes das bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

Para o metal cromo (Tabelas 3 e 4), verifica-se que sua concentração variou entre < L.D. (em todos os grupos tróficos estudados) e 19,50 mg kg⁻¹ (detritívoro), considerando-se os diferentes níveis tróficos de peixes coletados na bacia do rio Araguaia. Para a bacia do rio Tocantins, a oscilação da concentração de cromo foi entre < L.D. (em todos os grupos tróficos) e 7,50 mg kg⁻¹ (detritívoro).

Fazendo uma análise da concentração de cromo por nível trófico, verifica-se que o teor deste metal em peixes detritívoros coletados na bacia do rio Araguaia

variou entre $< \text{L.D.}$ e $19,50 \text{ mg kg}^{-1}$. Já na bacia do rio Tocantins, a oscilação foi entre $< \text{L.D.}$ e $7,50 \text{ mg kg}^{-1}$. Percebe-se uma variação considerável da concentração de cromo nas duas bacias estudadas. Provavelmente, os locais de coleta onde estes peixes foram capturados apresentam algumas características diferentes, principalmente no que se refere às propriedades físico-químicas do solo e às atividades desenvolvidas em torno dos rios. Neste nível trófico, as maiores concentrações de cromo foram encontradas na bacia do rio Araguaia.

Não houve variação da concentração de cromo nos peixes herbívoros e invertívoros coletados nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins, em Goiás. Nestes grupos tróficos, todos os valores obtidos encontram-se abaixo do limite de detecção. Neste caso, pode-se dizer que não há contaminação por cromo nos peixes amostrados pertencentes a estes dois níveis tróficos.

Nos peixes insetívoros, a oscilação de cromo foi entre $< \text{L.D.}$ e $10,66 \text{ mg kg}^{-1}$ em afluentes do rio Araguaia. Nos afluentes do rio Tocantins, todos os valores estão abaixo do limite de detecção. Neste nível trófico, apenas os peixes coletados na bacia do rio Araguaia apresentaram contaminação por cromo.

No grupo trófico piscívoro, a variação do teor de cromo foi entre $< \text{L.D.}$ e $3,49 \text{ mg kg}^{-1}$ na bacia do rio Araguaia e entre $< \text{L.D.}$ e $0,99 \text{ mg kg}^{-1}$ na bacia do rio Tocantins. Percebe-se uma maior oscilação e uma maior concentração deste metal na bacia do rio Araguaia.

Nos peixes carnívoros coletados no rio Verde da bacia do rio Araguaia também não houve variação da concentração de cromo, pois nas duas amostras, os teores encontrados estão abaixo do limite de detecção.

Para o nível trófico onívoro, a oscilação foi maior na bacia do rio Araguaia. Em afluentes desta bacia, o teor de cromo variou entre $< \text{L.D.}$ e $2,98 \text{ mg kg}^{-1}$. Já na bacia do rio Tocantins, a variação foi entre $< \text{L.D.}$ e $0,56 \text{ mg kg}^{-1}$.

Observa-se pequena variação da concentração de cromo em alguns níveis tróficos das bacias dos rios Araguaia e Tocantins. Esta variação pode estar relacionada às características específicas dos locais de coleta e à lixiviação do solo, visto que nenhum curtume (principal fonte de cromo) foi observado próximo aos afluentes estudados.

Observando os resultados do teor de alumínio (Tabelas 3 e 4), verifica-se que sua concentração variou entre $< \text{L.D.}$ (insetívoro) e $6395,39 \text{ mg kg}^{-1}$ (detritívoro) considerando-se os diferentes níveis tróficos de peixes coletados na bacia do rio

Araguaia. Para a bacia do rio Tocantins, a oscilação da concentração de alumínio foi entre < L.D. (insetívoro) e 2848,00 mg kg⁻¹ (onívoro).

O teor de alumínio em peixes detritívoros coletados na bacia do rio Araguaia variou entre 9,48 mg kg⁻¹ e 6395,39 mg kg⁻¹. Já na bacia do rio Tocantins, a oscilação foi entre 49,35 mg kg⁻¹ e 2168,00 mg kg⁻¹. Observa-se uma grande variação da concentração de alumínio entre os peixes coletados nas duas bacias estudadas. Neste nível trófico, as maiores concentrações de alumínio foram encontradas na bacia do rio Araguaia.

Apenas um peixe herbívoro foi capturado em cada bacia. Comparando os dois representantes, verifica-se que o peixe herbívoro coletado na bacia do rio Tocantins apresenta teor de alumínio maior que o capturado na bacia do rio Araguaia. Percebe-se ao longo da descrição realizada para cada um dos metais, que o peixe coletado no afluente do rio Tocantins (rio São Domingos) apresenta teores de metais poluentes maiores que o peixe coletado no afluente do rio Araguaia (rio Piranhas).

No grupo trófico invertívoro, a variação do teor de alumínio foi entre 17,39 mg kg⁻¹ e 354,41 mg kg⁻¹ na bacia do rio Araguaia e entre 4,98 mg kg⁻¹ e 270,78 mg kg⁻¹ na bacia do rio Tocantins. Há uma grande variação entre os valores encontrados nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins, fato também observado para os peixes detritívoros. Provavelmente, os locais onde estes peixes foram coletados apresentam características naturais e antrópicas diferentes. Neste nível trófico, o maior teor de alumínio foi encontrado na bacia do rio Araguaia.

Para os peixes insetívoros, observa-se também uma grande variação na concentração de alumínio nas duas bacias pesquisadas. Em afluentes do rio Araguaia, a oscilação foi entre < L.D. e 1044,78 mg kg⁻¹ e nos afluentes do rio Tocantins, a variação foi entre < L.D. e 754,39 mg kg⁻¹.

No grupo trófico piscívoro, a oscilação do teor de alumínio foi entre 2,50 mg kg⁻¹ e 58,41 mg kg⁻¹ na bacia do rio Araguaia e entre 29,97 mg kg⁻¹ e 301,85 mg kg⁻¹ na bacia do rio Tocantins. Percebe-se uma maior variação deste metal na bacia do rio Araguaia. Porém, os maiores teores de alumínio foram encontrados na bacia do rio Tocantins.

Os valores de alumínio encontrados nos peixes carnívoros coletados não foram tão próximos, variando de 61,64 mg kg⁻¹ a 385,83 mg kg⁻¹. Esta diferença de concentração deve-se à ingestão maior de alimento contaminado por alumínio por

parte de um dos peixes capturados, visto que o local de coleta é o mesmo para os dois representantes em estudo.

Para o nível trófico onívoro, verifica-se uma grande oscilação nas duas bacias. Em afluentes da bacia do rio Araguaia, o teor de alumínio variou entre $3,85 \text{ mg kg}^{-1}$ e $2311,69 \text{ mg kg}^{-1}$. Já na bacia do rio Tocantins, a variação foi entre $9,00 \text{ mg kg}^{-1}$ e $2848,00 \text{ mg kg}^{-1}$.

Nota-se uma grande variação no teor de alumínio em todos os grupos tróficos das bacias dos rios Araguaia e Tocantins. Esta variação pode ser decorrente das características específicas de cada local onde estes peixes foram capturados. Altas concentrações de alumínio podem estar relacionadas à lixiviação do solo que, por sua vez, pode estar sendo influenciada por erosões presentes nas áreas de pastagens. Além disso, por mais que as atividades desenvolvidas em torno dos afluentes das bacias dos rios Araguaia e Tocantins sejam semelhantes, podem existir diferenças no tratamento das pastagens e culturas agrícolas, em relação ao uso de agrotóxicos e fertilizantes.

A fim de se fazer uma comparação da concentração dos metais poluentes entre os níveis tróficos, calculou-se a mediana de cada um dos grupos pesquisados que apresentaram tamanho amostral maior ou igual a três (Anexo B). Utilizou-se a mediana como medida descritiva, em virtude do pequeno tamanho amostral e das oscilações entre os valores obtidos na amostragem.

Analisando os valores encontrados, verifica-se que os grupos tróficos que apresentaram a menor concentração de cobre foram o insetívoro e onívoro. Por outro lado, o nível trófico que apresentou o maior teor deste metal foi o detritívoro. Isto significa que a maior fonte de contaminação de cobre está sendo oriundo de detritos e matéria orgânica morta provenientes do sedimento.

Observa-se ainda que o grupo trófico que apresentou a menor concentração de ferro, manganês, zinco e chumbo foi o piscívoro e o nível trófico que apresentou a menor concentração de alumínio foi o invertívoro. Por outro lado, o nível trófico que apresentou o maior teor destes metais foi o insetívoro. Isto significa que a maior fonte de contaminação dos metais acima citados são insetos presentes no ambiente aquático. Neste caso, pode estar ocorrendo uma bioacumulação destes metais, através dos insetos que se alimentaram de matéria orgânica morta e detritos contaminados presentes no sedimento ou até mesmo de produtos oriundos das culturas agrícolas onde o uso de agrotóxicos ainda se faz presente. É importante

ressaltar também que a fisiologia dos peixes pode influenciar na bioacumulação por metais.

Para o cromo, todos os níveis tróficos apresentaram o mesmo valor mediano.

Em estudos realizados em um pesqueiro localizado na cidade de Umuarama-PR, Souza e colaboradores (2009) detectaram os minerais cobre, ferro e zinco em todas as amostras de peixes analisadas. Neste trabalho, foram estudadas apenas espécies de peixes onívoros. Para o lambari, as concentrações médias encontradas de cobre, ferro e zinco foram respectivamente, as seguintes: 11,9 mg kg⁻¹, 48,8 mg kg⁻¹ e 73,7 mg kg⁻¹. Para o piau, as concentrações médias obtidas de cobre, ferro e zinco foram, respectivamente, as seguintes: 6,5 mg kg⁻¹, 50,6 mg kg⁻¹ e 22,6 mg kg⁻¹. Fazendo uma comparação entre os valores encontrados nestes peixes e nos peixes onívoros desta pesquisa, percebe-se que o teor de cobre encontrado nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins (0,77 mg kg⁻¹) é bem menor do que os detectados no Paraná. Entretanto, os teores de ferro e zinco encontrados neste estudo (455,69 mg kg⁻¹ e 130,19 mg kg⁻¹, respectivamente) são maiores do que os detectados no Paraná. Em estudos de Souza et al. (2009) não foi detectado o metal cromo nas amostras de peixes onívoros analisadas. Na presente pesquisa, foi encontrado cromo em apenas quatro peixes onívoros coletados.

Em estudo realizado no rio Piracicaba, em São Paulo, as concentrações médias de cobre, zinco, manganês, chumbo, cromo e alumínio encontradas por Meche e colaboradores (2010) foram respectivamente: 0,98 mg kg⁻¹; 7,24 mg kg⁻¹; 0,62 mg kg⁻¹; 0,77 mg kg⁻¹; 0,35 mg kg⁻¹ e 8,38 mg kg⁻¹. Nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins, os teores médios destes metais foram superiores aos obtidos em São Paulo: 2,36 mg kg⁻¹ (cobre); 119,62 mg kg⁻¹ (zinco); 39,42 mg kg⁻¹ (manganês); 9,38 mg kg⁻¹ (chumbo); 0,58 mg kg⁻¹ (cromo) e 301,50 mg kg⁻¹ (alumínio). Um dos fatores dessa diferença pode ser o tipo de solo e também o tipo de manejo próximo aos cursos d'água. Sabe-se que Latossolos, solos típicos do Cerrado, possuem altas concentrações de alumínio e manganês (BURAK et al., 2010).

Roberto Leandro da Silva (Comunicação Pessoal) determinou a concentração de alguns metais poluentes presentes na água coletada nos mesmos locais da bacia do rio Araguaia onde foi realizada esta pesquisa. Neste estudo, o pesquisador constata que o metal cobre apresenta concentrações acima dos valores de referência estabelecidos pelo CONAMA (2005) para água doce de classe 3 na

maioria dos rios e ribeirões pesquisados (teor médio de cobre encontrado na água: $0,03 \text{ mg L}^{-1}$). Observa-se também concentração de manganês acima do permitido pela legislação no córrego C3 ($0,6 \text{ mg L}^{-1}$) e concentração de chumbo acima do estabelecido pelo CONAMA (2005) para água doce de classe 3 nos rios Crixás-Mirim e Verde ($0,0346 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,0347 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente). Contudo, ele relata a não observação de atividades antropogênicas relacionadas à liberação destes metais, sugerindo que as altas concentrações desses contaminantes estejam correlacionadas à lixiviação do solo que, por sua vez, pode estar sendo influenciada por erosões presentes nas áreas de pastagens. Nesta pesquisa, foi encontrada concentração média de zinco de $0,23 \text{ mg L}^{-1}$, valor bem abaixo do estabelecido pelo CONAMA (2005) para águas Classe 3, mostrando assim que a água não influencia determinantemente a contaminação dos peixes com este metal. O metal cromo não foi detectado nas amostras de água coletada, sugerindo influência do sedimento na contaminação de peixes por esta espécie metálica.

Observando o boxplot (Figura 2), nota-se que não há uma simetria da concentração de cobre entre os diferentes grupos tróficos. Os valores encontrados acima da cerca superior do gráfico ($q3 + 1,5(q3-q1)$), conhecidos como outliers, foram obtidos no Córrego Moenda, Rio Crixás-Mirim, Córrego C1 e Córrego C7, afluentes do rio Araguaia e no Córrego Porquinhos, afluente do rio Tocantins. É importante ressaltar que apenas o valor obtido no Córrego C7 ($103,90 \text{ mg kg}^{-1}$) está acima do permitido pela legislação. O valor de referência para o cobre é $20,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de acordo com recomendação de Food Standards Committes (1956), publicada na compilação da FAO em 1983.

Analisando a Figura 3, observa-se que a concentração de ferro não é simétrica entre os grupos tróficos. Além disso, verifica-se a presença de outliers, representados por valores encontrados no Córrego Moenda, Rio Verde, Córrego C7 e Córrego de Dona Gercina, afluentes do rio Araguaia e no Rio das Pedras II e Córrego Pouso Alegre, afluentes do rio Tocantins. Não foi encontrado limite máximo permitido por legislações brasileiras e internacionais para esta espécie metálica.

O ferro é um metal essencial para os seres vivos, entretanto, em altas concentrações pode causar danos à saúde, principalmente por participar de reações precursoras de radicais livres (TOMA, 1984). A quantidade máxima de ferro para o homem é de 45 mg.

Bacia Araguaia-Tocantins

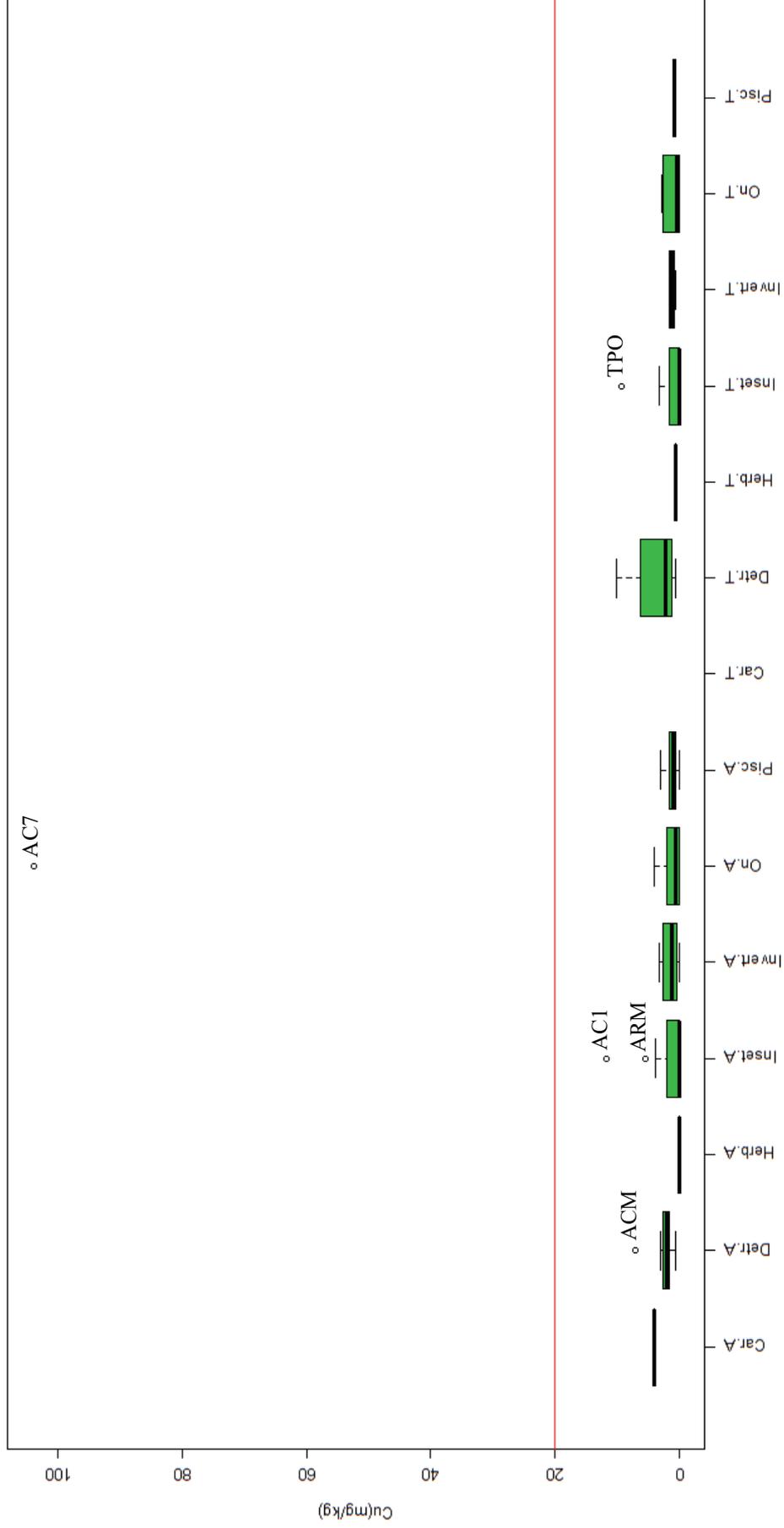


Figura 2. Comparação da concentração do metal cobre considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, invertívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

Bacia Araguaia-Tocantins

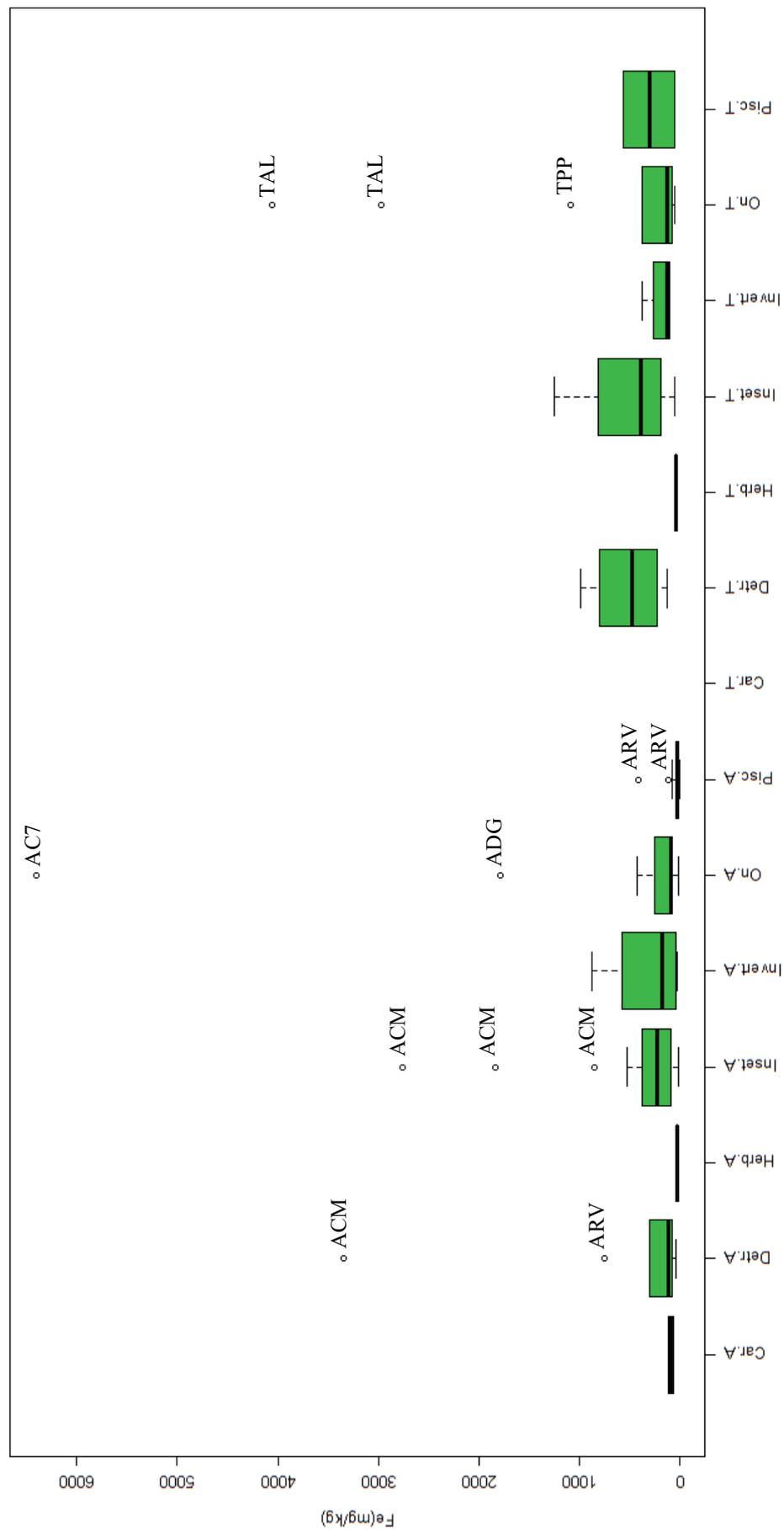


Figura 3. Comparação da concentração do metal ferro considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, invertívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

O boxplot (Figura 4) mostra que também não há uma simetria da concentração de manganês entre os níveis tróficos e entre as bacias. Os outliers encontrados são representados por valores obtidos na bacia do rio Araguaia: Córrego Moenda, Córrego C3, Rio Verde, Córrego C7 e na bacia do rio Tocantins: Córrego Pouso Alegre. Observando as normas da FAO/WHO (1997), que estabelece o valor de $2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ como limite máximo permitido de manganês em peixes, verifica-se que 93,63% dos valores obtidos estão acima do valor de referência para este metal poluente.

Observando o boxplot (Figura 5), nota-se que não há uma simetria da concentração de zinco entre os diferentes grupos tróficos. Os outliers foram obtidos no Córrego Moenda, Córrego de Dona Gercina, Rio Tesoura, Córrego C7, afluentes do rio Araguaia e no Córrego Pouso Alegre, afluente do rio Tocantins. É importante ressaltar que 78,18% dos valores encontrados estão acima do permitido pela legislação. O valor de referência para o zinco é $50,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de acordo com recomendação de Food Standards Committes (1953), publicada na compilação da FAO em 1983.

A Figura 6 mostra que a concentração de chumbo não é simétrica entre os níveis tróficos e entre as bacias. Os outliers encontrados são representados por valores obtidos na bacia do rio Araguaia: Córrego Moenda, Córrego de Dona Gercina, Córrego C1, Córrego C7 e córrego C3 e na bacia do rio Tocantins: Rio das Pedras II, Córrego Bom Jesus e Córrego Pouso Alegre. Observando a portaria nº 685 de 27 de agosto de 1998 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que estabelece o valor de $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$ como limite máximo permitido de chumbo em peixes, verifica-se que 62,72% dos valores obtidos estão acima do valor de referência para este metal.

O chumbo é um elemento encontrado naturalmente na maioria dos solos (SILVA et al., 2007), entretanto, acredita-se que as altas concentrações deste metal observadas neste trabalho, são provenientes de ações antrópicas, provavelmente de agrotóxicos, fertilizantes e suplementos animais (MARÇAL et al., 2001; RODELLA, 2005).

Bacia Araguaia-Tocantins

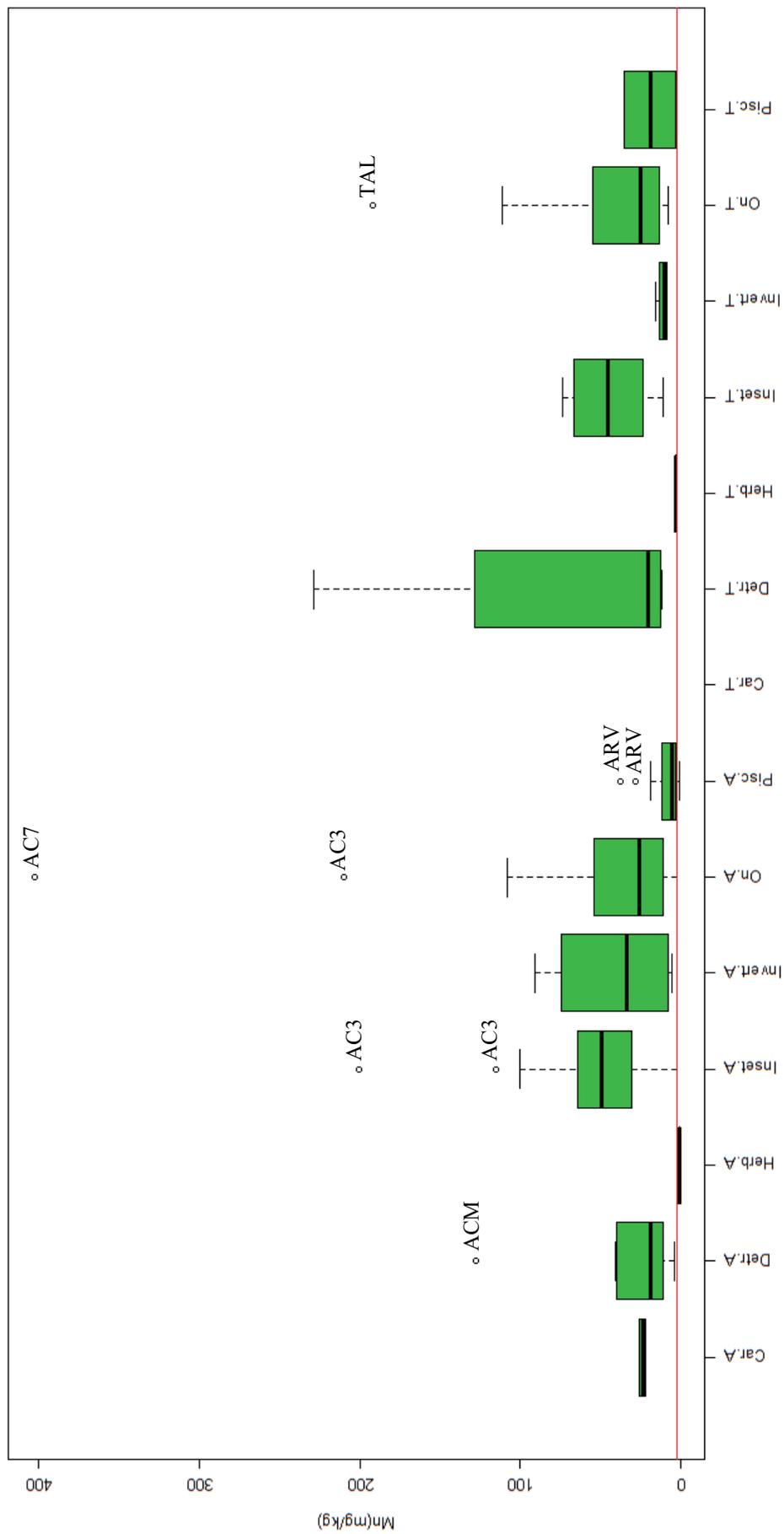


Figura 4. Comparação da concentração do metal manganês considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

Bacia Araguaia-Tocantins

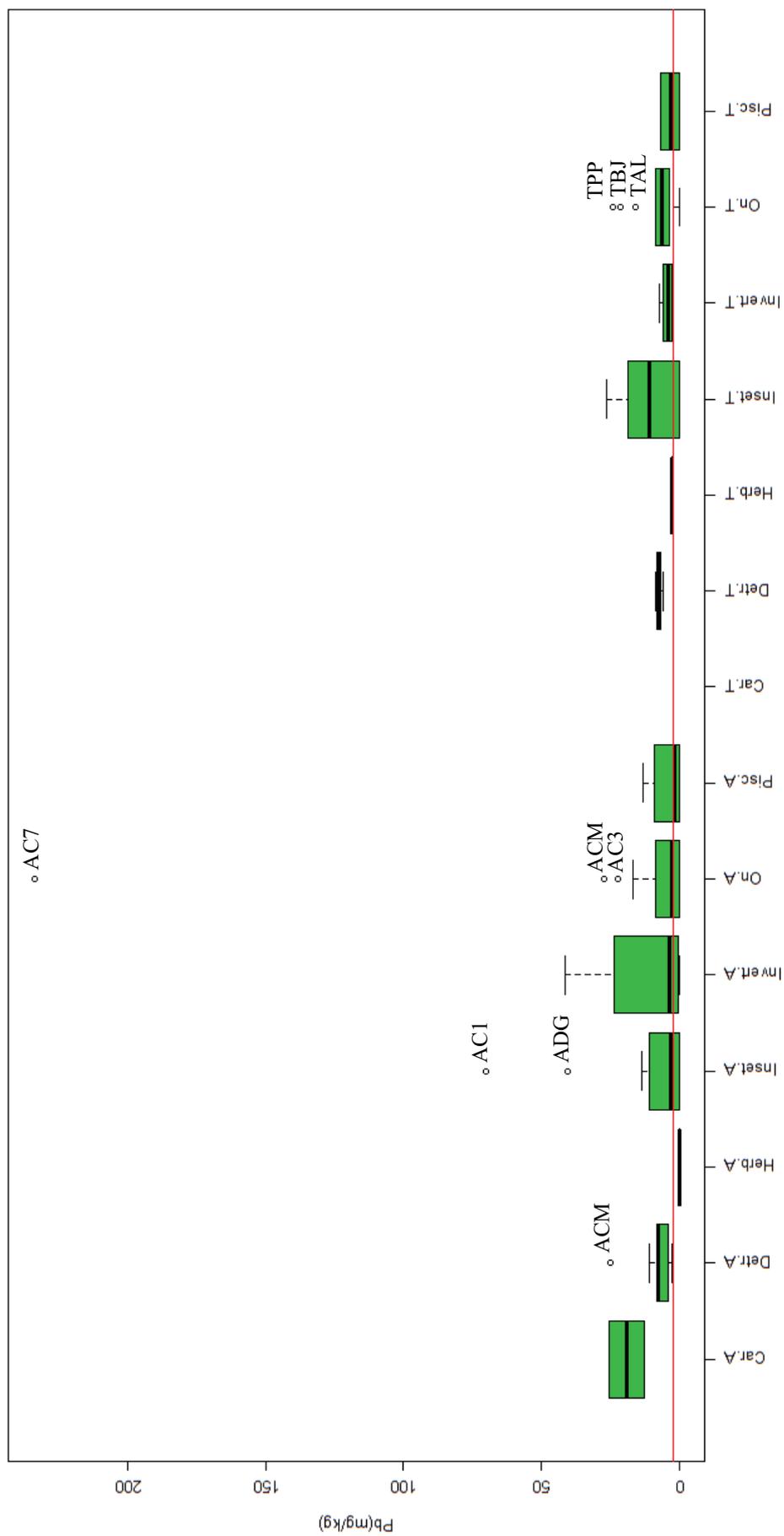


Figura 6. Comparação da concentração do metal chumbo considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, invertívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

Analisando o gráfico apresentado na Figura 7, observa-se que não há uma simetria da concentração de cromo entre os grupos tróficos. Além disso, verifica-se a presença de outliers, representados por valores encontrados no Córrego Moenda, Ribeirão Água Limpa, Rio Crixás-Mirim, Rio Verde e Rio Vermelho-Britânia, afluentes do rio Araguaia e no Ribeirão São Patricinho I, afluente do rio Tocantins. Vale ressaltar ainda que apenas 10% dos valores obtidos estão acima do valor de referência, sendo que 63,64% destes valores foram encontrados em peixes detritívoros. O valor de referência do cromo é $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$, conforme legislação de Hong Kong, única a estabelecer limite máximo de cromo em peixes, dentre todas apresentadas na compilação da FAO (1983).

Analisando a Figura 8, observa-se que a concentração de alumínio não é simétrica entre os grupos tróficos e entre as bacias. Além disso, verifica-se a presença de outliers, representados por valores encontrados no Córrego Moenda, Rio Verde, Córrego C7 e Rio do Peixe Maura, afluentes do rio Araguaia e no Córrego Pouso Alegre e Rio das Pedras II, afluentes do rio Tocantins. Observando as normas da FAO/WHO (1997), que estabelece o valor de $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ como limite máximo permitido de alumínio em peixes, verifica-se que 97,27% dos valores obtidos estão acima do valor de referência para este metal poluente.

Para o metal cádmio, todos os valores analisados estão abaixo do limite de detecção e, conseqüentemente, abaixo do valor de referência que é $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$, conforme portaria nº 685 de 27 de agosto de 1998 da ANVISA.

Bacia Araguaia-Tocantins

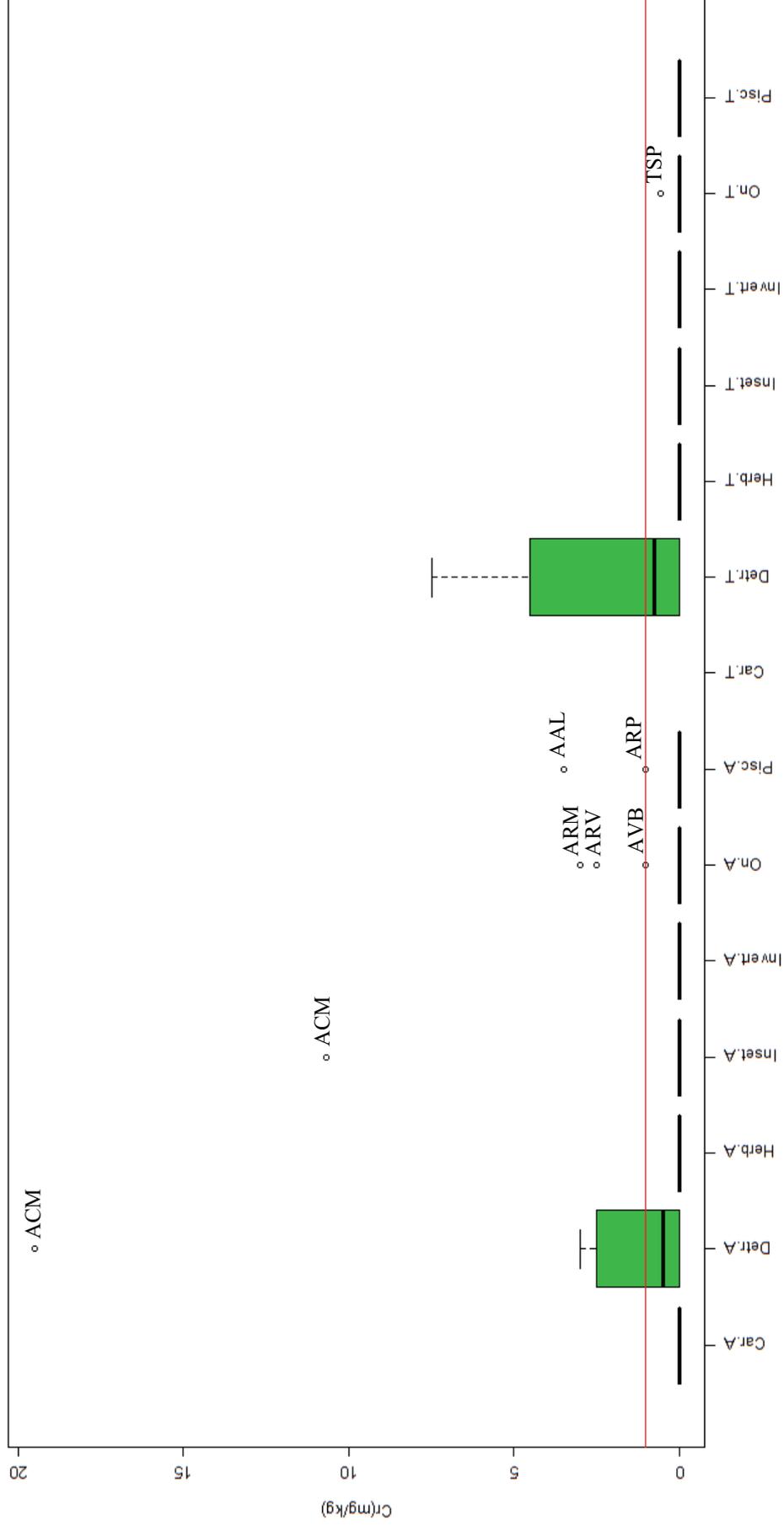


Figura 7. Comparação da concentração do metal cromo considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, invertívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

Bacia Araguaia-Tocantins

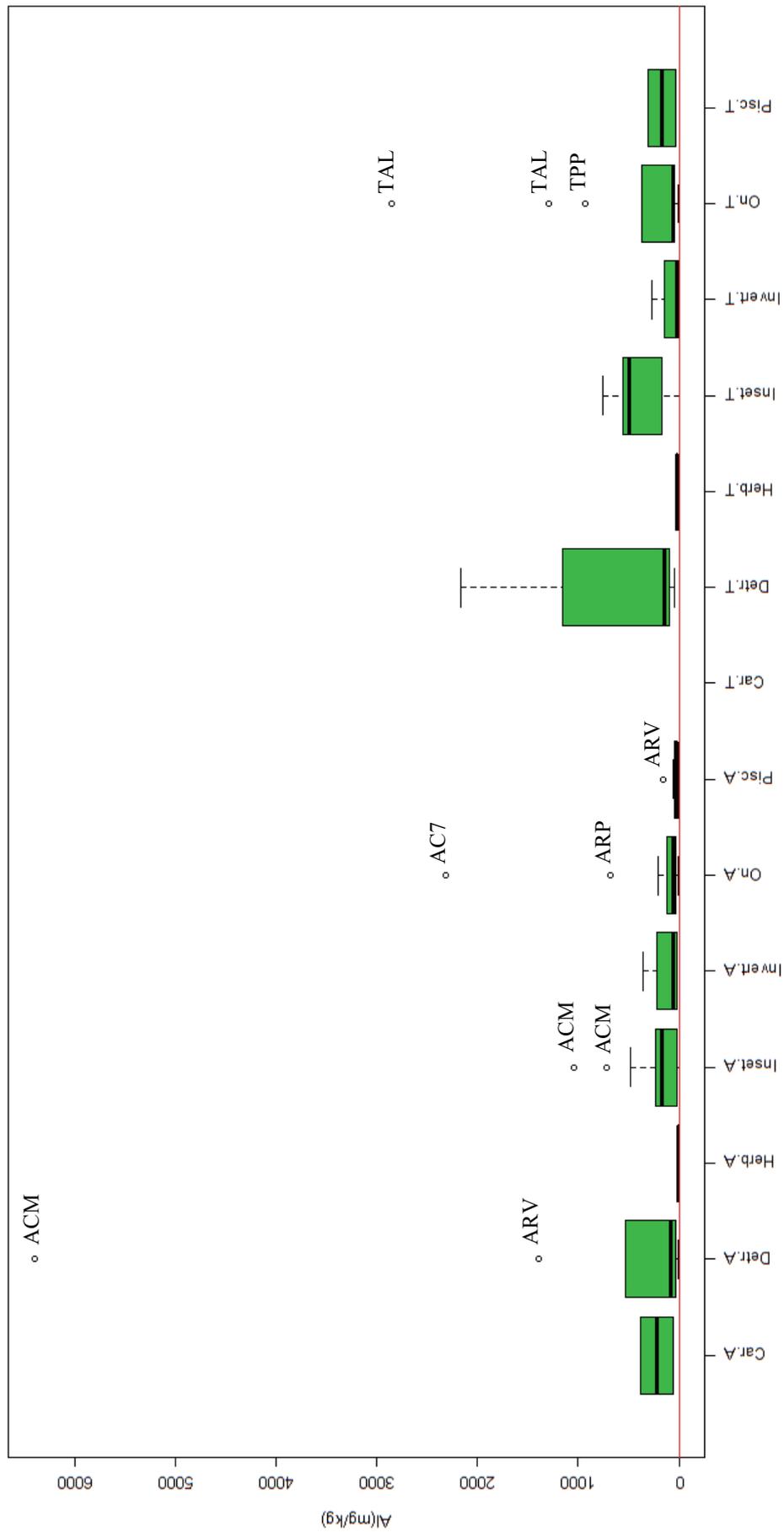


Figura 8. Comparação da concentração do metal alumínio considerando-se os diferentes níveis tróficos dos peixes (carnívoro, detritívoro, herbívoro, insetívoro, invertívoro, onívoro e piscívoro) coletados na bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

3.2 COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS ENTRE OS LOCAIS DE COLETA

Uma análise para comparação da concentração dos metais nos diferentes locais de coleta foi realizada, considerando-se apenas os onívoros pois conforme descrito na metodologia, este nível trófico foi o mais freqüente entre todos os demais.

Cobre

Observando os resultados da concentração de cobre (Tabela 5), percebe-se que o teor desta espécie metálica oscilou entre < L.D. e 103,90 mg kg⁻¹ em peixes onívoros coletados em afluentes do rio Araguaia e entre < L.D. e 2,81 mg kg⁻¹ em peixes onívoros coletados em afluentes do rio Tocantins.

Tabela 5. Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de cobre (mg Kg⁻¹) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

Bacia do rio Araguaia				Bacia do rio Tocantins			
Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n	Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n
Rio dos Bois	0,50	0,50	1	Rio Uru	2,50	2,50	1
Rio Verde	0,50	3,99	3	Rio dos Patos	0,50	0,50	1
Rio do Peixe Osvaldo	0,50	2,00	3	Rio São Domingos	1,08	1,08	1
Córrego Moenda	< L.D.	3,18	4	Rio das Almas	1,50	1,50	1
Rio do Peixe Maura	< L.D.	2,50	2	Córrego Bom Jesus	< L.D.	< L.D.	2
Rio Crixás-Mirim	0,50	0,99	2	Córrego Pouso Alegre	< L.D.	< L.D.	2
Córrego de Dona Gercina	< L.D.	< L.D.	2	Rio das Pedras II	< L.D.	< L.D.	3
Córrego C3	< L.D.	< L.D.	2	Ribeirão São Patricinho I	2,81	2,81	1
Rio Vermelho Britânia	0,50	0,50	1	Rio dos Bois	2,49	2,49	1
Córrego C7	103,90	103,90	1	Rio Maranhão	2,50	2,50	1

< L.D. = menor que o limite de detecção

Analisando o gráfico correspondente (Figura 9), verifica-se que o córrego C7, localizado na bacia do rio Araguaia, apresentou concentração de cobre muito acima dos teores encontrados nos demais locais de coleta.

Onívoro

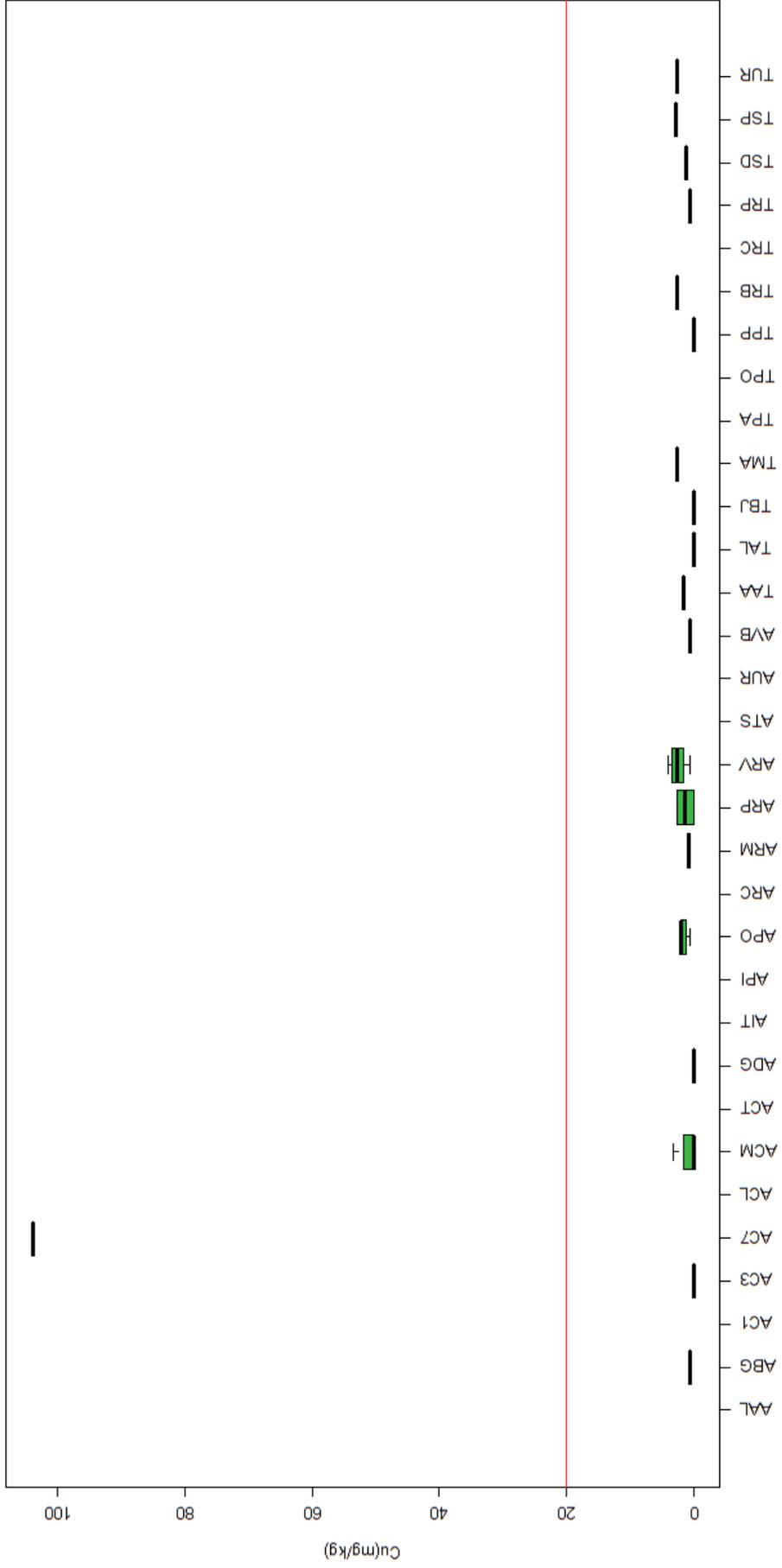


Figura 9. Comparação da concentração do metal cobre presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

Ferro

A concentração de ferro (Tabela 6) oscilou entre 17,48 mg kg⁻¹ e 6402,60 mg kg⁻¹, em amostras coletadas na bacia do rio Araguaia e entre 53,65 mg kg⁻¹ e 4052,42 mg kg⁻¹ em amostras coletadas na bacia do rio Tocantins.

Tabela 6. Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de ferro (mg Kg⁻¹) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

Bacia do rio Araguaia				Bacia do rio Tocantins			
Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n	Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n
Rio dos Bois	77,48	77,48	1	Rio Uru	55,99	55,99	1
Rio Verde	73,21	361,07	3	Rio dos Patos	56,30	56,30	1
Rio do Peixe Osvaldo	26,37	74,43	3	Rio São Domingos	110,65	110,65	1
Córrego Moenda	70,09	248,25	4	Rio das Almas	75,88	75,88	1
Rio do Peixe Maura	17,48	431,89	2	Córrego Bom Jesus	130,12	137,32	2
Rio Crixás-Mirim	48,21	156,39	2	Córrego Pouso Alegre	2968,00	4052,42	2
Córrego de Dona Gercina	252,87	1785,71	2	Rio das Pedras II	53,65	1084,68	3
Córrego C3	80,26	136,03	2	Ribeirão São Patricinho I	137,14	137,14	1
Rio Vermelho Britânia	202,81	202,81	1	Rio dos Bois	122,50	122,50	1
Córrego C7	6402,60	6402,60	1	Rio Maranhão	349,52	349,52	1

Observando a Figura 10, percebe-se que o córrego C7 (Araguaia) e o Córrego Pouso Alegre (Tocantins), apresentaram concentrações de ferro bem superiores às encontradas nos demais afluentes dos rios Araguaia e Tocantins.

Onívoro

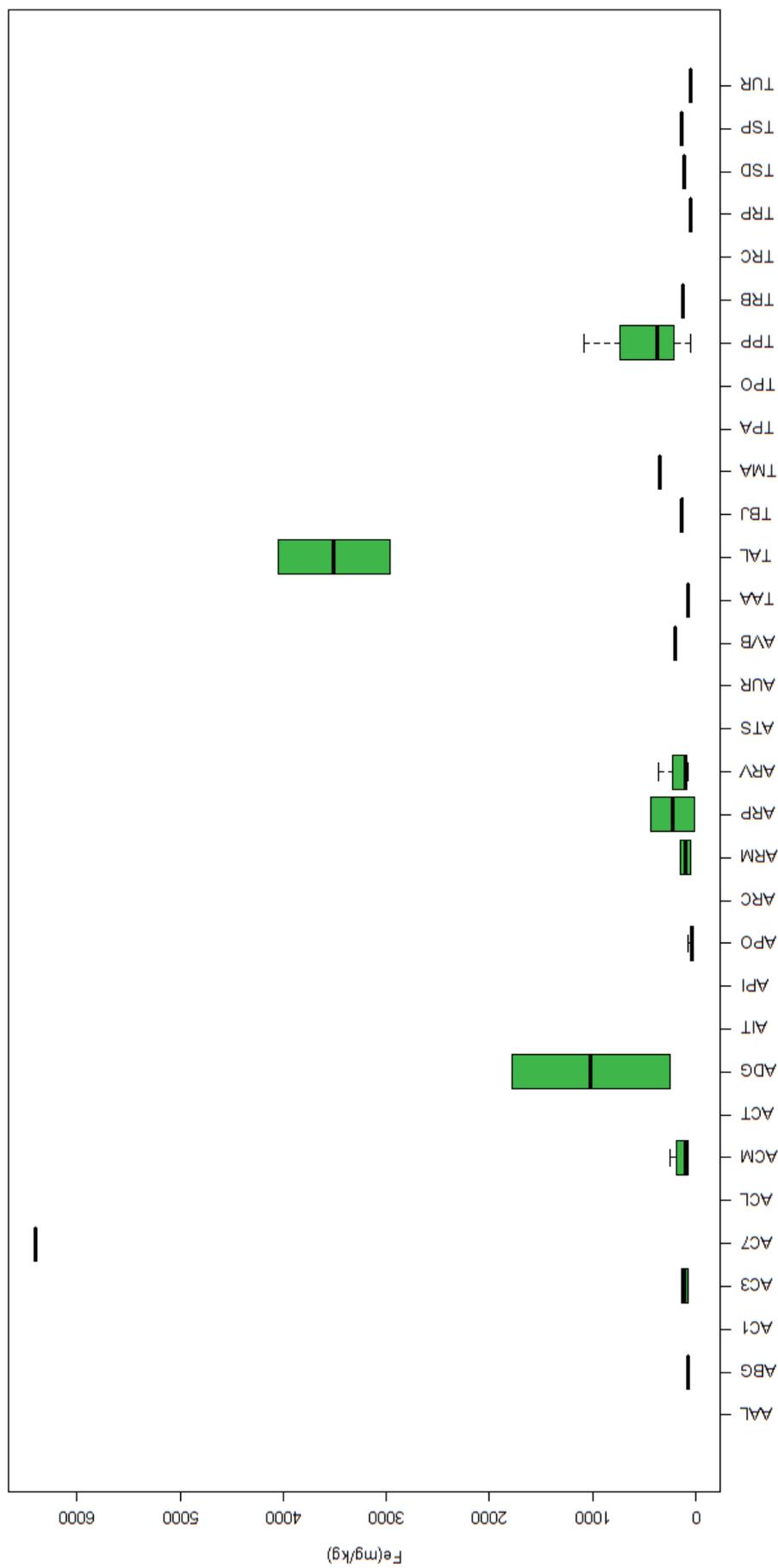


Figura 10. Comparação da concentração do metal ferro presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

Manganês

A concentração de manganês (Tabela 7) variou entre 2,50 mg kg⁻¹ e 402,60 mg kg⁻¹ em peixes coletados na bacia do rio Araguaia. Por outro lado, em peixes coletados na bacia do rio Tocantins, a concentração deste mesmo metal, oscilou entre 7,47 mg kg⁻¹ e 192,00 mg kg⁻¹.

Tabela 7. Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de manganês (mg Kg⁻¹) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

Bacia do rio Araguaia				Bacia do rio Tocantins			
Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n	Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n
Rio dos Bois	11,00	11,00	1	Rio Uru	10,00	10,00	1
Rio Verde	18,42	31,38	3	Rio dos Patos	7,47	7,47	1
Rio do Peixe Osvaldo	4,98	107,89	3	Rio São Domingos	33,63	33,63	1
Córrego Moenda	21,15	56,07	4	Rio das Almas	8,49	8,49	1
Rio do Peixe Maura	2,50	99,67	2	Córrego Bom Jesus	21,15	26,25	2
Rio Crixás-Mirim	3,48	15,44	2	Córrego Pouso Alegre	110,89	192,00	2
Córrego de Dona Gercina	28,74	44,64	2	Rio das Pedras II	16,99	76,12	3
Córrego C3	54,05	209,56	2	Ribeirão São Patricinho I	40,47	40,47	1
Rio Vermelho Britânia	10,46	10,46	1	Rio dos Bois	12,95	12,95	1
Córrego C7	402,60	402,60	1	Rio Maranhão	24,04	24,04	1

A Figura 11 mostra que, em geral, a bacia do rio Araguaia apresenta um teor de manganês maior que a bacia do rio Tocantins. Além disso, verifica-se mais uma vez, que os córregos C7 e Pouso Alegre apresentam concentrações maiores de metal poluente do que os demais afluentes dos rios Araguaia e Tocantins. Para o nível trófico onívoro, observa-se que 97,14% dos valores encontrados encontram-se acima do permitido pela legislação.

Onívoro

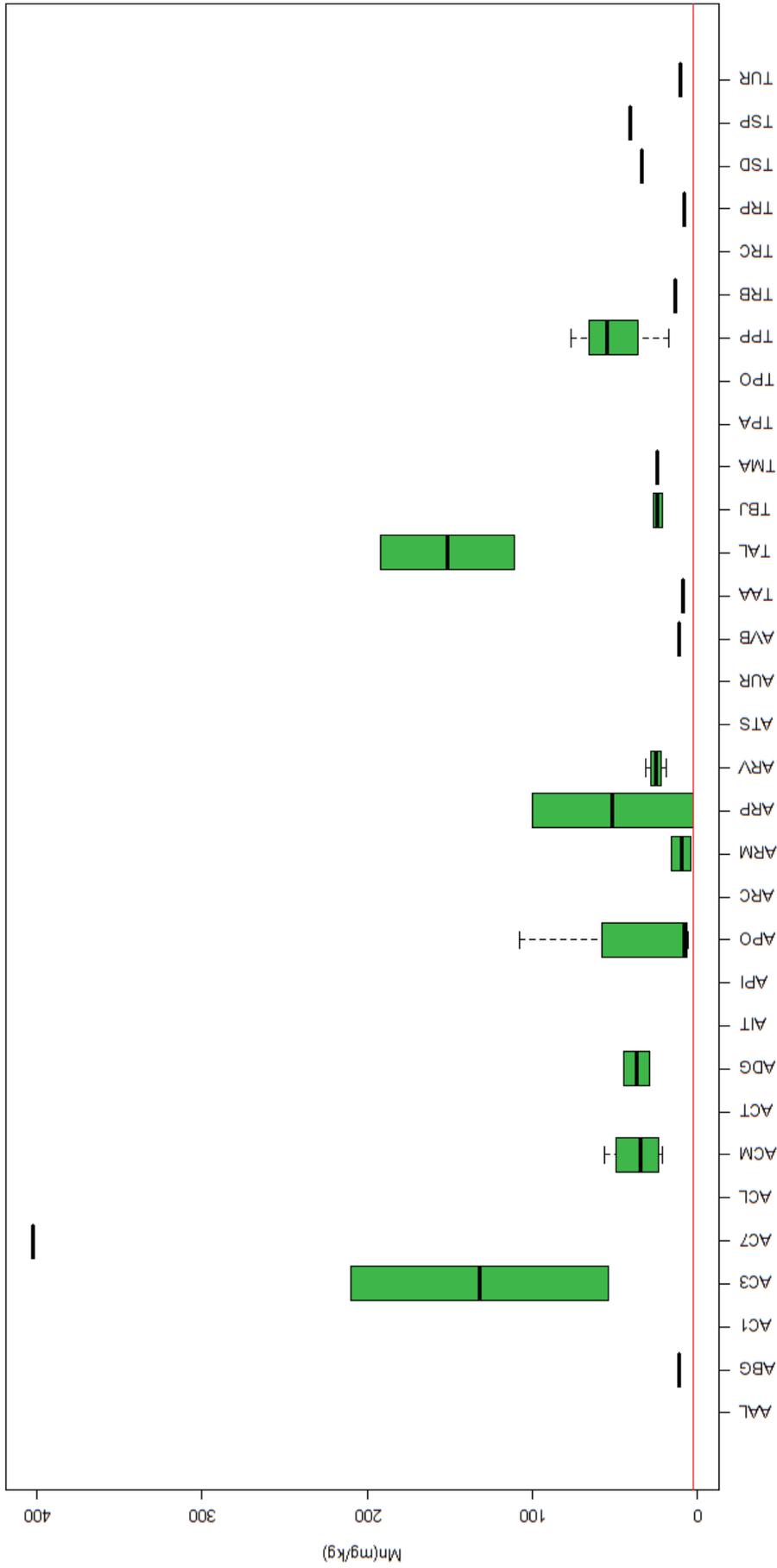


Figura 11. Comparação da concentração do metal manganês presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

Zinco

Para o metal zinco (Tabela 8), verifica-se que sua concentração oscilou entre 15,98 mg kg⁻¹ e 1805,19 mg kg⁻¹, em amostras coletadas na bacia do rio Araguaia e entre 34,88 mg kg⁻¹ e 340,60 mg kg⁻¹ em amostras coletadas na bacia do rio Tocantins.

Tabela 8. Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de zinco (mg Kg⁻¹) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

Bacia do rio Araguaia				Bacia do rio Tocantins			
Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n	Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n
Rio dos Bois	72,49	72,49	1	Rio Uru	87,99	87,99	1
Rio Verde	86,15	103,93	3	Rio dos Patos	34,88	34,88	1
Rio do Peixe Osvaldo	41,38	54,45	3	Rio São Domingos	182,25	182,25	1
Córrego Moenda	116,82	209,46	4	Rio das Almas	85,86	85,86	1
Rio do Peixe Maura	15,98	149,50	2	Córrego Bom Jesus	214,70	236,27	2
Rio Crixás-Mirim	25,35	76,70	2	Córrego Pouso Alegre	211,69	240,00	2
Córrego de Dona Gercina	74,40	333,33	2	Rio das Pedras II	51,86	340,60	3
Córrego C3	90,91	147,06	2	Ribeirão São Patricinho I	104,54	104,54	1
Rio Vermelho Britânia	55,31	55,31	1	Rio dos Bois	81,66	81,66	1
Córrego C7	1805,19	1805,19	1	Rio Maranhão	91,14	91,14	1

Observando o boxplot para este metal poluente (Figura 12), percebe-se que o córrego C7 também apresenta teores de zinco bem superiores aos encontrados nos demais afluentes do rio Araguaia. Considerando o grupo trófico onívoro, nota-se que 88,57% dos valores obtidos estão acima do valor de referência para este metal.

Onívoro

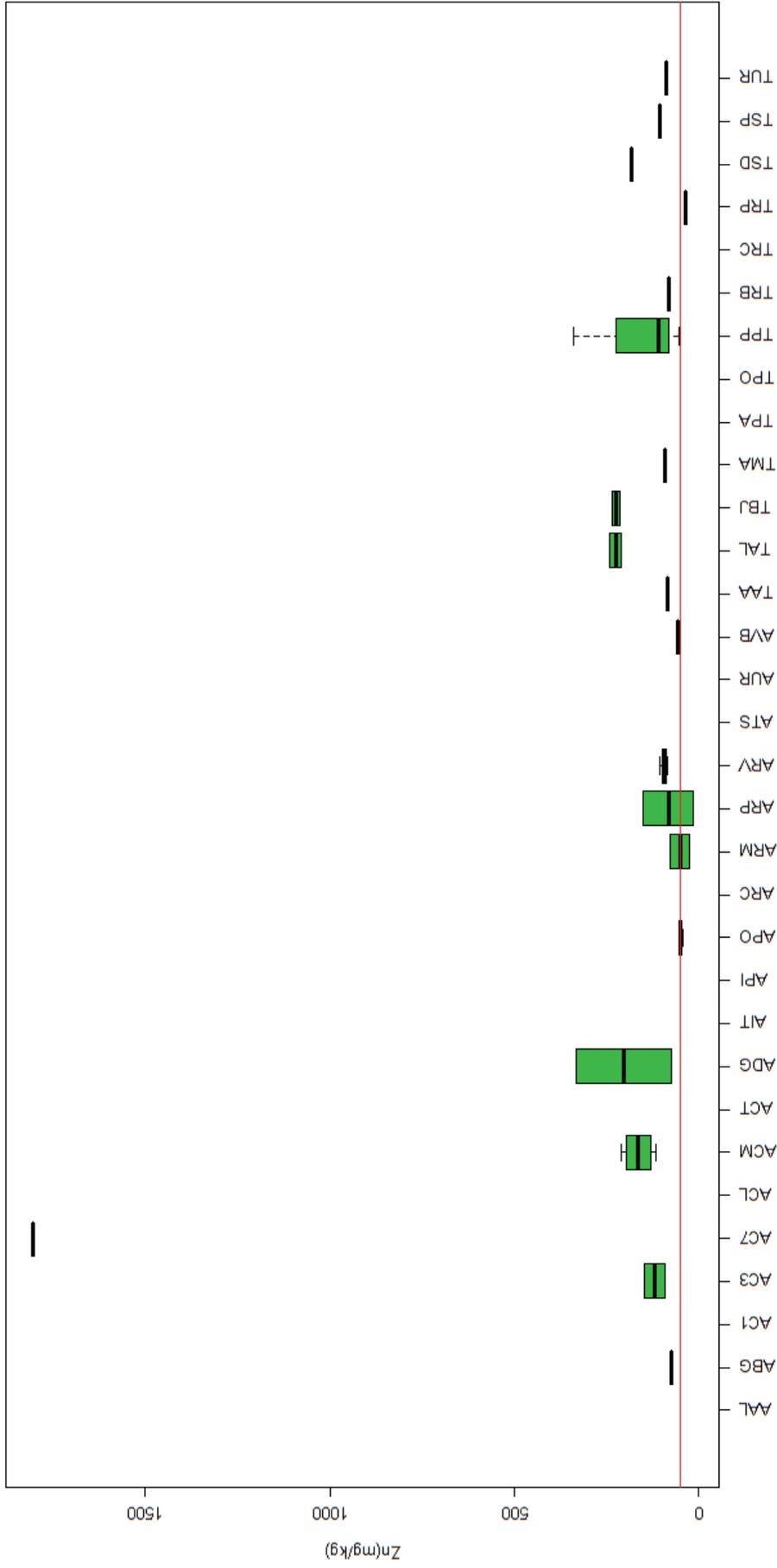


Figura 12. Comparação da concentração do metal zinco presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

Chumbo

Observando a concentração de chumbo (Tabela 9) em peixes onívoros coletados na bacia do rio Araguaia, nota-se que o teor deste metal variou entre < L.D. e 233,77 mg kg⁻¹. Por outro lado, em peixes onívoros coletados na bacia do rio Tocantins, a concentração de chumbo, oscilou entre < L.D. e 23,79 mg kg⁻¹.

Tabela 9. Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de chumbo (mg Kg⁻¹) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

Bacia do rio Araguaia				Bacia do rio Tocantins			
Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n	Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n
Rio dos Bois	2,00	2,00	1	Rio Uru	3,50	3,50	1
Rio Verde	1,00	10,46	3	Rio dos Patos	0,50	0,50	1
Rio do Peixe Osvaldo	< L.D.	5,49	3	Rio São Domingos	7,59	7,59	1
Córrego Moenda	< L.D.	27,15	4	Rio das Almas	5,49	5,49	1
Rio do Peixe Maura	2,00	16,61	2	Córrego Bom Jesus	8,08	21,14	2
Rio Crixás-Mirim	2,48	4,48	2	Córrego Pouso Alegre	< L.D.	16,00	2
Córrego de Dona Gercina	< L.D.	< L.D.	2	Rio das Pedras II	< L.D.	23,79	3
Córrego C3	< L.D.	22,06	2	Ribeirão São Patricinho I	8,43	8,43	1
Rio Vermelho Britânia	1,00	1,00	1	Rio dos Bois	5,48	5,48	1
Córrego C7	233,77	233,77	1	Rio Maranhão	5,01	5,01	1

< L.D. = menor que o limite de detecção

O gráfico correspondente a esta espécie metálica (Figura 13) mostra que o peixe coletado no córrego C7 também apresenta concentração maior de chumbo do que os demais peixes onívoros coletados em outros afluentes do rio Araguaia. Para o nível trófico onívoro, observa-se que 62,86% dos valores encontrados encontram-se acima do permitido pela legislação brasileira.

Onívoro

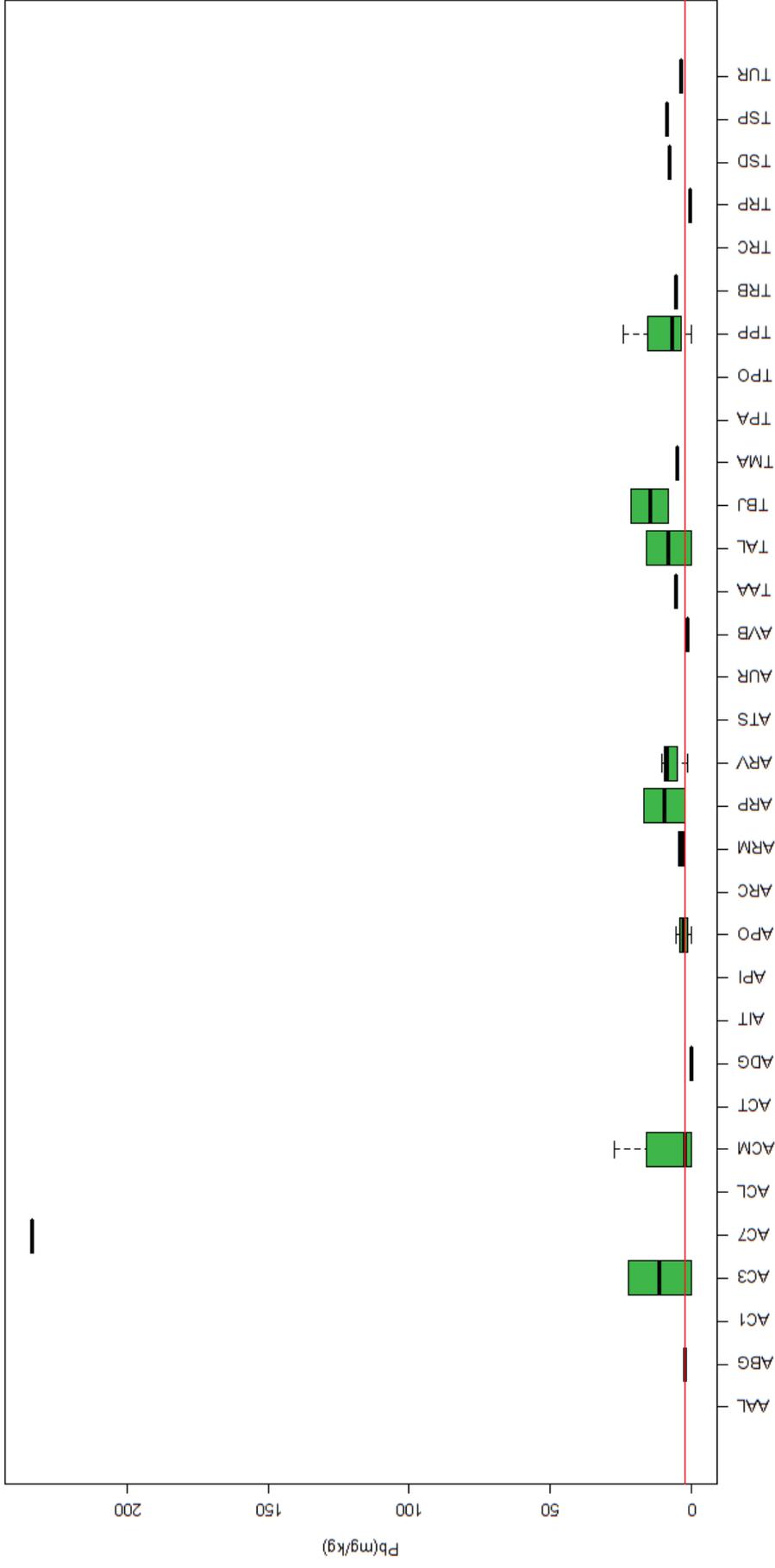


Figura 13. Comparação da concentração do metal chumbo presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

Cromo

Para o cromo (Tabela 10), observa-se que o teor desta espécie metálica oscilou entre < L.D. e 2,98 mg kg⁻¹ em peixes onívoros coletados em afluentes do rio Araguaia e entre < L.D. e 0,56 mg kg⁻¹ em peixes onívoros coletados em afluentes do rio Tocantins.

Tabela 10. Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de cromo (mg Kg⁻¹) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

Bacia do rio Araguaia				Bacia do rio Tocantins			
Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n	Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n
Rio dos Bois	< L.D.	< L.D.	1	Rio Uru	< L.D.	< L.D.	1
Rio Verde	< L.D.	2,50	3	Rio dos Patos	< L.D.	< L.D.	1
Rio do Peixe Osvaldo	< L.D.	< L.D.	3	Rio São Domingos	< L.D.	< L.D.	1
Córrego Moenda	< L.D.	< L.D.	4	Rio das Almas	< L.D.	< L.D.	1
Rio do Peixe Maura	< L.D.	< L.D.	2	Córrego Bom Jesus	< L.D.	< L.D.	2
Rio Crixás-Mirim	< L.D.	2,98	2	Córrego Pouso Alegre	< L.D.	< L.D.	2
Córrego de Dona Gercina	< L.D.	< L.D.	2	Rio das Pedras II	< L.D.	< L.D.	3
Córrego C3	< L.D.	< L.D.	2	Ribeirão São Patricinho I	0,56	0,56	1
Rio Vermelho Britânia	1,00	1,00	1	Rio dos Bois	< L.D.	< L.D.	1
Córrego C7	< L.D.	< L.D.	1	Rio Maranhão	< L.D.	< L.D.	1

< L.D. = menor que o limite de detecção

Analisando o boxplot (Figura 14), verifica-se que em apenas quatro locais os peixes onívoros coletados apresentaram concentração de cromo acima do limite de detecção, sendo eles: Rio Crixás-Mirim, Rio Verde, Rio Vermelho Britânia e Ribeirão São Patricinho I, este último localizado na bacia do rio Tocantins. Dessa forma, apenas 5,71% dos valores de cromo medidos em peixes onívoros estão acima do permitido pela legislação que rege o assunto.

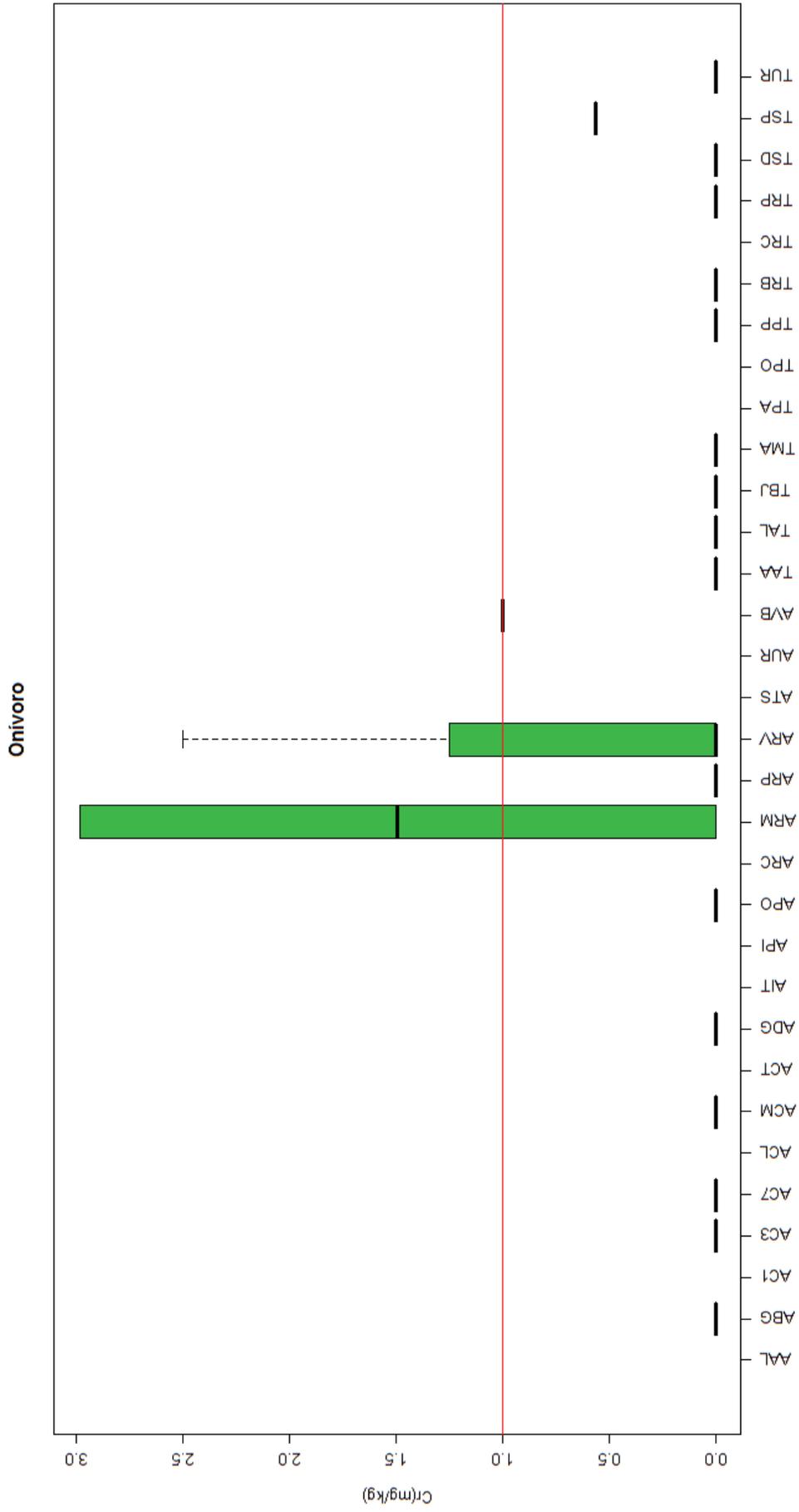


Figura 14. Comparação da concentração do metal cromo presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

Alumínio

Finalmente, analisando a concentração de alumínio (Tabela 11), nota-se que o teor deste metal variou entre 3,85 mg kg⁻¹ e 2311,69 mg kg⁻¹ em amostras coletadas na bacia do rio Araguaia e entre 9,00 mg kg⁻¹ e 2848,00 mg kg⁻¹.

Tabela 11. Tamanho amostral e valores mínimos e máximos da concentração de alumínio (mg Kg⁻¹) em filé de peixes onívoros, considerando-se os diferentes locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

Bacia do rio Araguaia				Bacia do rio Tocantins			
Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n	Local de Coleta	Mínimo	Máximo	n
Rio dos Bois	163,97	163,97	1	Rio Uru	9,00	9,00	1
Rio Verde	64,06	155,31	3	Rio dos Patos	79,22	79,22	1
Rio do Peixe Osvaldo	13,43	73,93	3	Rio São Domingos	23,87	23,87	1
Córrego Moenda	3,85	54,11	4	Rio das Almas	11,98	11,98	1
Rio do Peixe Maura	35,96	681,06	2	Córrego Bom Jesus	43,92	90,87	2
Rio Crixás-Mirim	33,80	55,28	2	Córrego Pouso Alegre	1290,32	2848,00	2
Córrego de Dona Gercina	104,17	126,44	2	Rio das Pedras II	49,18	937,20	3
Córrego C3	31,94	55,15	2	Ribeirão São Patricinho I	40,47	40,47	1
Rio Vermelho Britânia	206,80	206,80	1	Rio dos Bois	41,83	41,83	1
Córrego C7	2311,69	2311,69	1	Rio Maranhão	158,74	158,74	1

A Figura 15 correspondente a esta espécie metálica mostra mais uma vez que os córregos C7 e Pouso Alegre apresentam concentrações maiores de metal poluente do que os demais afluentes dos rios Araguaia e Tocantins. Para o nível trófico onívoro, observa-se que em 100% das amostras, os valores obtidos para o metal alumínio encontram-se acima do valor de referência.

Onívoro

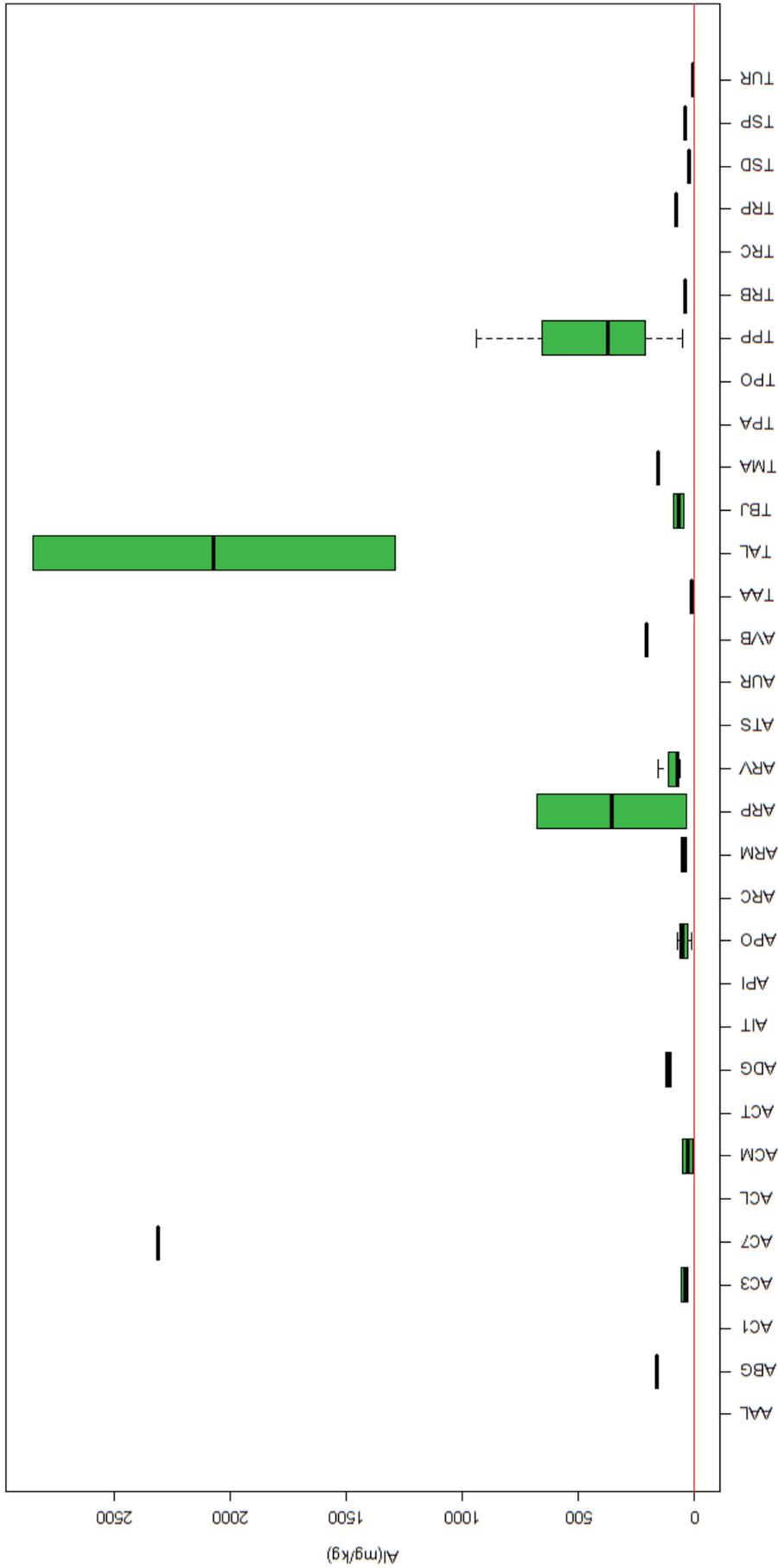


Figura 15. Comparação da concentração do metal alumínio presente nos peixes onívoros considerando-se os diferentes locais de coleta da bacia dos rios Araguaia e Tocantins.

Observa-se na descrição realizada acima, que o córrego C7 apresentou teores de diversos metais poluentes bem acima do que os demais afluentes da bacia do rio Araguaia. Uma possível explicação para o ocorrido seria o fato do Córrego C7 estar localizado na parte central da bacia, onde a atividade de uso do solo predominante é a pastagem cultivada seguida de culturas agrícolas, atividades nas quais são empregados fertilizantes e agrotóxicos. Nestas condições, é possível que haja uma maior disponibilidade de metais contaminantes em decorrência da lixiviação do solo, tendo em vista que nenhuma outra atividade foi observada ao longo das bacias dos rios Araguaia e Tocantins. O córrego Pouso Alegre também apresentou concentrações de metais poluentes maiores do que os outros afluentes do rio Tocantins. Provavelmente, esses dois locais de coleta apresentam características físico-químicas de solo e de água diferenciadas, visto que esses fatores influenciam na disponibilidade de metais para o ecossistema. Além disso, maiores concentrações de fertilizantes e agrotóxicos podem estar sendo usadas no tratamento das pastagens e culturas agrícolas próximas a esses cursos d'água, já que o uso racional desses produtos depende de educação e consciência ambiental dos proprietários e produtores rurais.

3.3 ANÁLISE NÃO-PARAMÉTRICA DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS ENTRE OS NÍVEIS TRÓFICOS

Analisando os resultados da análise comparativa da quantidade de cada metal poluente entre os níveis tróficos dos peixes coletados nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins (Tabela 12), verifica-se que existem diferenças significativas das concentrações de metais contaminantes entre os níveis tróficos, exceto para o metal chumbo (Pb).

Tabela 12. Valores de p-value obtidos na comparação da concentração de cada metal poluente entre os níveis tróficos dos peixes coletados nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

Metal Poluente	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
p-value	0,002635	0,000623	0,005497	0,000029	0,000002	0,1248	0,000038

3.4 ANÁLISE NÃO-PARAMÉTRICA DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS ENTRE OS LOCAIS DE COLETA

Observando os resultados encontrados na comparação entre os locais onde os peixes de todos os níveis tróficos foram capturados (Tabela 13), percebe-se que há diferença significativa na concentração dos metais cobre, ferro, manganês e zinco.

Tabela 13. Valores de p-value obtidos na comparação da concentração de cada metal poluente entre os locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins onde os peixes de todos os níveis tróficos foram coletados.

Metal Poluente	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
p-value	0,3463	0,5542	0,00274	0,00147	0,00023	0,6754	0,00005

Por outro lado, analisando os valores de p-value obtidos na comparação da concentração de metais poluentes considerando apenas os onívoros coletados (Tabela 14), verifica-se que não existe diferença significativa no teor de nenhum dos metais contaminantes estudados. Através dos resultados destes dois testes, pode-se inferir que as fontes de contaminação de cobre, ferro, manganês e zinco são do sedimento do ambiente aquático, visto que os peixes onívoros não se alimentam de detritos e matéria orgânica morta que se depositam no fundo dos córregos e rios.

Tabela 14. Valores de p-value obtidos na comparação da concentração de cada metal poluente entre os locais de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins onde os peixes onívoros foram coletados.

Metal Poluente	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
p-value	0,1534	0,3029	0,1664	0,398	0,3106	0,8632	0,2013

3.5 ANÁLISE NÃO-PARAMÉTRICA DA CONCENTRAÇÃO DE METAIS ENTRE BACIAS

Os resultados do teste de Kruskal-Wallis para a análise comparativa da concentração de cada metal poluente entre as duas bacias pesquisadas são apresentados na Tabela 15. Analisando os dados obtidos, verifica-se que há diferença significativa na concentração dos metais alumínio, ferro e zinco.

Tabela 15. Valores de p-value obtidos na comparação da concentração de cada metal poluente entre as bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

Metal Poluente	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
p-value	0,02994	0,7927	0,5651	0,00032	0,1923	0,09957	0,03045

Apesar do teste não-paramétrico ter sido o mais adequado para a realização da análise estatística dos dados deste trabalho (experimento não balanceado), vale ressaltar que o poder deste teste está restrito em razão do pequeno número de replicações ($n < 6$) obtido na maioria dos afluentes pesquisados das bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

CONCLUSÃO

Este estudo mostra uma possível contaminação de peixes das bacias hidrográficas dos rios Araguaia e Tocantins com metais poluentes, uma vez que mais de 60% dos peixes coletados nestas bacias apresentaram concentrações de alumínio, chumbo, manganês e zinco acima do valor permitido pela legislação.

Os metais poluentes que mais contribuíram para a contaminação das bacias estudadas foram o alumínio e o manganês. Das amostras de peixe analisadas, mais de 90% apresentaram teores destes metais acima do estabelecido pela legislação que rege o assunto. As altas concentrações de alumínio e manganês encontradas podem ser decorrentes do solo típico da região pesquisada (Latossolo) e do tipo de manejo próximo aos cursos d'água das bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

As maiores concentrações de alumínio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês e zinco foram encontradas na bacia do rio Araguaia. Em termos de valores máximos, verifica-se que os afluentes do rio Araguaia apresentam maiores valores do que os afluentes da bacia do rio Tocantins. Os teores dos metais poluentes alumínio, ferro e zinco são significativamente diferentes entre as duas bacias.

O nível trófico mais afetado pela poluição por metais foi o insetívoro, sugerindo uma possível bioacumulação de metais poluentes através dos insetos que se alimentaram de matéria orgânica morta e detritos contaminados presentes no sedimento ou de produtos provenientes das culturas agrícolas onde se faz o uso de agrotóxicos. As concentrações de metais contaminantes (exceto para o chumbo) são significativamente diferentes entre os níveis tróficos.

As análises descritiva e não-paramétrica dos dados sugerem que a fonte de contaminação dos peixes coletados nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins por metais poluentes é o sedimento do ambiente aquático.

Dessa forma, um estudo mais sistemático, com análises físico-químicas da água e sedimento, é necessário para se chegar a uma conclusão definitiva sobre a contaminação das bacias hidrográficas pesquisadas.

Além disso, outros estudos sobre a presença de metais contaminantes nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins no estado de Goiás são necessários, tendo em vista a necessidade de se considerar os períodos sazonais característicos da região (chuva e seca) e os níveis naturais e antrópicos destes contaminantes no ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. *Química Nova*, v. 25, n. 6B, p. 1145-1154, 2002.

ANA - Agência Nacional de Águas. A Região Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. 2006.

ANA - Agência Nacional de Águas. Plano estratégico de Recursos Hídricos. Caracterização da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. 2008.

ANDRÉA, M. M. Bioindicadores ecotoxicológicos de agrotóxicos. *Arquivos do Instituto Biológico*, n. 83, 2008.

ANVISA. Portaria Nº 685 de 27 de agosto de 1998. Aprova o Regulamento Técnico: "Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos" e seu Anexo: "Limites máximos de tolerância para contaminantes inorgânicos". *Diário Oficial da União*, 24 set. 1998. Disponível em: < <http://www.anvisa.gov.br>>.

AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M.; SOUZA-FILHO, E. E. Relação entre o regime hidrológico e os ecossistemas aquáticos da planície aluvial do rio Araguaia. *Acta Sci. Biol. Sci.*, Maringá, v. 30, n. 4, p. 361-369, 2008.

BELMEJO, L.; MARTOS, H. L. Utilização de *Xiphophorus helleri* como Bioindicador de Poluição Hídrica de Derivados de Petróleo em Condições Tropicais. *Revista Eletrônica de Biologia*, v. 1, n. 2, p. 1-17, 2008.

BOOCK, M. V.; MACHADO NETO, J. G. Estudos sobre a toxicidade aguda do oxicleto de cobre para o peixe *Poecilia reticulata*. *B. Inst. Pesca*, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 29-35, 2005.

BURAK, D. L.; FONTES, M. P. F.; SANTOS, N. T.; MONTEIRO, L. V. S; MARTINS, E. S.; BECQUER, T. Geochemistry and spatial distribution of heavy metals in oxisols in a mineralized region of the brazilian plateau. *Geoderma*, v. 160, n. 2, p. 131-142, 2010.

CARMO, C. A.; ABESSA, D. M. S.; NETO, J. G. M. Metais em águas, sedimentos e peixes coletados no estuário de São Vicente-SP, Brasil. *O Mundo da Saúde*, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 64-70, 2011.

CASTRO, S. V. *Efeitos de metais pesados presentes na água sobre a estrutura das comunidades bentônicas do alto Rio das Velhas - MG*. 2006. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. 2006.

CAVALCANTI, A. D. Monitoramento da contaminação por elementos traço em ostras comercializadas em Recife, Pernambuco, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 5, 2003.

EBRAHIMI, M.; TAHERIANFARD, M. Pathological and Hormonal Changes in Freshwater Fishes Due to Exposure to Heavy Metals Pollutants. *Water Air Soil Pollut*, 2010.

EPA. Environment Protection Agency. United States Method 305 B, SW-846. Test methods for evaluating solid waste physical. Chemical methods. 3 ed. 1995.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FAO Fisheries Circular n. 764. Rome, 1983.

FAO/WHO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION / WORLD HEALTH ORGANIZATION. Food consumption and exposure assessment of chemicals. Report of a FAO/WHO consultation, 10-14 February. Geneva, Switzerland. 1997.

FREITAS, M. B.; BRILHANTE, O. M.; ALMEIDA, L. M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 651-660, 2001.

FROESE, R.; PAULY, D. Fish Base. World Wide Web electronic publication. 2010. Disponível em: <<http://www.fishbase.org>>. Version: nov. 2010.

HOGAN, D. J.; CARMO, R. L.; AZEVEDO, A. M. M.; GAMA, I.; DARCIE, C.; DELGADO, C. C. *Um Breve Perfil Ambiental da Região Centro-Oeste*. São Paulo: Unicamp, 2000.

HONGLEI, L.; LIQING, L.; CHENGQING, Y.; BAOQING, S. Fraction distribution and risk assessment of heavy metals in sediments of Moshui Lake. *Journal of Environmental Sciences*, 20, p. 390-397, 2008.

HUBERT, M.; VANDERVIJEREN, E. An adjusted boxplot for skewed distributions. *Computational Statistics & Data Analysis*, v. 52, p. 5186-5201, 2008.

JESUS, H. C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F.; ZANDONADE, E. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória – ES. *Química Nova*, São Paulo, v. 27, n. 3, 2004.

KEHRIG, H. A.; COSTA, M.; MALM, O. Estudo da contaminação por metais pesados em peixes e mexilhão da Baía de Guanabara - Rio de Janeiro. *Tropical Oceanography*, Recife, v. 35, n. 1, p. 32-50, 2007.

LIMA JÚNIOR, R. G. S.; ARAÚJO, F. G.; MAIA, M. F.; BRAZ PINTO, A. S. Evaluation of heavy metals in fish of Sepetiba and Ilha Grande Bays, Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Research Section*, v. 89, p. 171-179, 2002.

MARÇAL, W. S.; GASTE, L.; LIBONI, M.; PARDO, P. E.; NASCIMENTO, M. R. L. Concentration of lead in mineral salt mixtures used as supplements in cattle food. *Exp. Toxicol. Pathol*, 53, p. 7-9, 2001.

MASCARENHAS, L. M. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 21, n. 1, p. 5-18, 2009.

MECHE, A.; MARTINS, M. C.; LOFRANO, B. E. S. N.; HARDAWAY, C. J.; MERCHANT, M.; VERDADE, L. Determination of heavy metals by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry in fish from the Piracicaba River in Southern Brazil. *Microchemical Journal*, 94, p. 171-174, 2010.

MELO, C. E.; LIMA, J. D.; MELO, T. L.; PINTO-SILVA, V. *Peixes do Rio das Mortes - Identificação e Ecologia das espécies mais comuns*. Cuibá: Unemat Editora, 2005.

MENDONÇA, M. L. T. G. *Metodologia para determinação de metais em sedimento utilizando microondas com frasco fechado e análise estatística multivariada das concentrações de metais em sedimentos da Bacia de Campos*. 2006. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2006.

MOLLERKE, R.O.; NOLL, I. B.; SANTO, M. A. B. E.; NORTE, D. M. Níveis de arsênio total como indicador biológico na avaliação da qualidade do pescado (*Leporinus obtusidens* e *Pimelodus maculatus*) do lago Guaíba em Porto Alegre - RS, Brasil. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, v. 62, n. 2, p. 117-121, 2003.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. A importância da análise de especiação do chumbo em plasma para a avaliação dos riscos à saúde. *Química Nova*, v. 27, n. 2, p. 251-260, 2004.

MORGANO, M. A.; GOMES, P. C.; MANTOVANI, D. M. B.; PERRONE, A. A. M.; SANTOS, T. F. Níveis de mercúrio total em peixes de água doce de pisciculturas paulistas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 25, n. 2, p. 250-253, 2005.

MUNIZ, D. H. F.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Metais pesados provenientes de rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. *Universitas: Ciências da Saúde*, v. 4, n. 1/2, p. 83-100, 2006.

OLIVEIRA, C. P. F. *Efeito de cobre e chumbo, metais pesados presentes na água de formação derivada da extração do petróleo da província petrolífera do Urucu-AM, sobre o tambaqui, Colossoma macropomum (Cuvier, 1818)*. 2002. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, Universidade Federal do Amazonas. 2002.

OLIVEIRA, T. S.; COSTA, L. M. Metais pesados em solos de uma topolitossequência do Triângulo Mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 4, 2004.

OLIVEIRA-FILHO, E. C.; LIMA, J. E. F. W. *Impacto da agricultura sobre os recursos hídricos na região do cerrado*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002.

PINO, G. A. H. *Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (Cocos nucifera)*. 2005. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica: Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2005.

PORTO, L. C. S.; ETHUR, E. M. Elementos traço na água e em vísceras de peixes da Bacia Hidrográfica Butuí-Icamaquã, Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2512-2518, 2009.

RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X. Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1289-1303, 2000.

- ROCHA, A. A.; PEREIRA, D. N.; PADUA, H. B. Produtos de pesca e contaminantes químicos na água da represa Billings, São Paulo (Brasil). *Rev. Saúde Pública*, v. 19, n. 5, 1985.
- RODELLA, A. A. Legislação sobre teores de contaminantes em fertilizantes: Estudo de caso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 797-801, 2005.
- SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. S. R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus (AM). *Acta Amazonica*, Manaus, v. 37, n. 1, p. 111-118, 2007.
- SANTOS, G. M.; MÉRONA, B.; JURAS, A. A.; JÉGU, M. *Peixes do Baixo Tocantins: 20 anos depois da Usina Hidrelétrica de Tucuruí*. Brasília: Eletronorte, 2004.
- SANTOS, M. L.; LENZI, E.; COELHO, A. R. Ocorrência de metais pesados no curso inferior do rio Ivaí, em decorrência do uso do solo em sua bacia hidrográfica. *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, v. 30, n. 1, p. 99-107, 2008.
- SARGENTELLI, V.; MAURO, A. E.; MASSABNI, A. C. Aspectos do metabolismo do cobre no homem. *Química Nova*, v. 19, n. 3, 1996.
- SILVA, A. L. O.; BARROCAS, P. R. G.; JACOB, S. C.; MOREIRA, J. C. Dietary Intake and health effects of selected toxic elements. *Braz. J. Plant Physiol*, v. 17, n. 1, p. 79-93, 2005.
- SILVA, M. L. S.; VITTI, G. C.; TREVIZAM, A. R. Concentração de metais pesados em grãos de plantas cultivadas em solo com diferentes níveis de contaminação. *Pesq. agropec. bras.*, v. 42, n. 4, p. 527-535, 2007.
- SILVA, H. K. P.; MACEDO, S. J.; BRAYNER, F. M. M. Avaliação das concentrações de metais traço nos sedimentos do Parque dos Manguezais, região metropolitana do Recife (RMR), Pernambuco, Brasil. *Tropical Oceanography*, Recife, v. 38, n. 2, p. 174-180, 2010.
- SOUZA, G. R.; GARCEZ, M. A. P.; SANTOS, V. C. G.; SILVA, D. B.; CAETANO, J.; DRAGUNSKI, D. C. Quantificação de metais pesados em peixes de um pesqueiro localizado na cidade de Umuarama - PR. *Arq. Ciênc. Vet. Zool. Unipar*, Umuarama, v. 12, n. 1, p. 61-66, 2009.
- TAVARES, T. M.; CARVALHO, F. M. Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do Recôncavo Baiano. *Química Nova*, v. 15, n. 2, 1992.

TEIXEIRA, G. C. S. *Metais pesados e nutrientes em solos sob pecuária leiteira em sistema de pastejo direto na bacia do Rio Paraná*. 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás. 2010.

TELES, L. T.; ZARA, L. F.; FURLANETTO, U. L. R.; SILVA JR, N. J. Elementos traço em peixes de interesse comercial do Rio Caiapó (Goiás, Brasil) em área sob impacto ambiental. *Estudos*, Goiânia, v. 35, n. 6, 2008.

TOMA, H. E. *Química Bioinorgânica*. Sec. Geral dos Estados Americanos. São Paulo, 1984.

VIRGA, R. H. P.; GERALDO, L. P.; SANTOS, F. H. Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 27, n. 4, p. 779-785, 2007.

WELZ, B. *Atomic absorption spectrometry*. Weinheim: VCH, 1985.

ANEXOS

Anexo A

Tabela 16. Tamanho amostral de peixes por nível trófico e por local de coleta das bacias dos rios Araguaia e Tocantins.

Bacia	Curso d'água	Nível Trófico							Total Geral
		Detrit.	Herb.	Invert.	Inset.	Pisc.	Carn.	On.	
Araguaia	Ribeirão Água Limpa				1	1			2
Araguaia	Rio dos Bois	1				1		1	3
Araguaia	Córrego C1				1				1
Araguaia	Córrego C3				2			2	4
Araguaia	Córrego C7							1	1
Araguaia	Rio Claro	1				1			2
Araguaia	Córrego Moenda	1		1	5			4	11
Araguaia	Córrego Taquari				2				2
Araguaia	Córrego Dona Gercina				2			2	4
Araguaia	Rio Vermelho Itapirapuã				1	1			2
Araguaia	Rio Piranhas		1			1			2
Araguaia	Rio do Peixe Osvaldo	1		1		2		3	7
Araguaia	Rio Caiapó					2			2
Araguaia	Rio Crixás-Mirim				1	1		2	4
Araguaia	Rio do Peixe Maura			1	2	3		2	8
Araguaia	Rio Verde	4		1		6	2	3	16
Araguaia	Rio Tesoura	1			1	1			3
Araguaia	Rio Vermelho Britânia					1		1	2
Tocantins	Rio das Almas			2				1	3
Tocantins	Córrego Pouso Alegre				1			2	3
Tocantins	Córrego Bom Jesus				2			2	4
Tocantins	Rio Maranhão							1	1
Tocantins	Córrego Palmital				2				2
Tocantins	Córrego Porquinhos				2				2
Tocantins	Rio das Pedras II				1	1		3	5
Tocantins	Rio dos Bois							1	1
Tocantins	Rio Corrente	1		1					2
Tocantins	Rio do Peixe	1		1		1		1	4
Tocantins	Rio São Domingos		1			1		1	3
Tocantins	Ribeirão São Patricinho I							1	1
Tocantins	Rio Uru	2							2
Tocantins	Rio dos Patos							1	1
Total Geral		13	2	8	26	24	2	35	110

Anexo B

Tabela 17. Mediana da concentração de metais poluentes (mg Kg^{-1}) em peixes coletados nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins, considerando-se os diferentes níveis tróficos com $n \geq 3$.

Nível Trófico	Metal Poluente						
	Al	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Detritívoro	72,42	0,00	1,99	123,89	17,72	7,23	63,98
Invertívoro	27,86	0,00	1,00	146,98	10,45	4,95	78,17
Insetívoro	177,89	0,00	0,00	308,64	50,92	8,42	133,63
Piscívoro	33,70	0,00	1,00	42,17	5,24	1,50	44,90
Onívoro	55,28	0,00	0,00	110,65	26,25	4,48	103,93