



Universidade de Brasília- UnB

Faculdade UnB Planaltina -FUP

CARLOS EDUARDO BRITO OLIVEIRA

**DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS TRAÇO EM MATRIZES DE
INTERESSE AMBIENTAL COLETADAS EM ÁREAS
LOCALIZADAS NA BACIA DO ALTO RIO MADEIRA- RO**

PLANALTINA- DF

2014

CARLOS EDUARDO BRITO OLIVEIRA

**DETERMINAÇÃO DE ELEMENTOS TRAÇO EM MATRIZES DE
INTERESSE AMBIENTAL COLETADAS EM ÁREAS
LOCALIZADAS NA BACIA DO ALTO RIO MADEIRA- RO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso
de Gestão Ambiental, como requisito parcial à obtenção
do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara

PLANALTINA- DF

2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Oliveira, Carlos E. B.

Determinação de Elementos Traço em Matrizes de Interesse Ambiental Coletadas em Áreas Localizadas na Bacia do Alto Rio Madeira- Ro/ Carlos Eduardo Brito Oliveira. Planaltina-DF, 2014. 72f.

Monografia- Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Curso de Bacharelado em Gestão Ambiental.

Orientador: Professor Doutor Luiz Fabrício Zara

CARLOS EDUARDO BRITO OLIVEIRA

Determinação de elementos traço em matrizes de interesse ambiental coletadas em áreas localizadas na bacia do alto rio Madeira- Ro

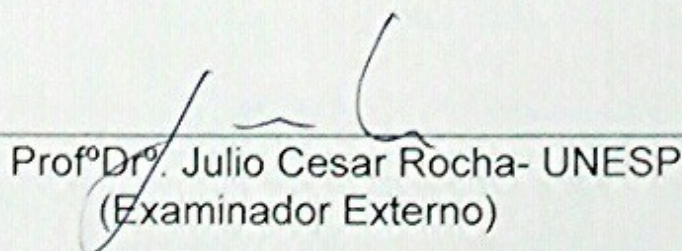
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Gestão Ambiental da Faculdade UnB Planaltina, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Gestão Ambiental.

Banca Examinadora:

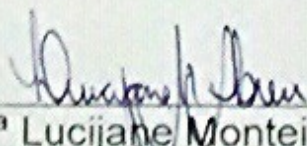
Planaltina-DF, 02 de Julho de 2014.



Prof^oDr. Luiz Fabrício Zara- UnB/FUP
(Orientador)



Prof^oDr. Julio Cesar Rocha- UNESP
(Examinador Externo)



Prof^aDr^a Lucijane Monteiro de Abreu- UnB/FUP
(Examinadora Interna)

*Dedico este trabalho a meus pais e irmã
que, dentro da união familiar, sempre me ampararam
quando das quedas, e contribuíram para meus passos mais vitoriosos.*

Aos caros José Carlos, Ana Maria e Natália, dedico de coração.

AGRADECIMENTOS

À toda minha família (inclusos pais e irmã, tios e tias, primos e primas, avôs e avós), pelo carinho, incentivo, apoio, ensinamentos e conselhos, em todos os momentos até aqui, e daqui em diante, tenho certeza.

Ao meu orientador, Luiz Fabrício Zara, pelo apoio e confiança depositada, desde o convite para participação nos diversos projetos por ele tutoriados, até o amparo prestado na viabilização e término deste trabalho.

À Venturo Consultoria Ambiental, que na figura dos professores Julio, Zara, Wilson e Ademir, me confiou elementos essenciais para a concretização desta etapa, além de saudável amadurecimento.

Ao professor Carlos Tadeu, pela iniciação em projetos científicos e direcionamento acadêmico. À pesquisadora Leide Rovenia pelas oportunidades e toda a experiência dentro do centro de pesquisas da Embrapa Cerrados.

A todos os amigos da faculdade que nesta caminhada também demonstraram seu apoio com palavras de incentivo. Um agradecimento especial aos amigos de longa data com quem posso contar sempre, e a todos os colegas da turma quatro de Gestão Ambiental de nossa universidade, pelas dificuldades e conquistas comumente divididas.

À Mábia, pelo companheirismo, parceria, presença e amizade, fatores que carregarei comigo. Aos amigos e vizinhos: Ray Alves, pelas sempre sábias palavras, e Munick Alves, pelos alegres momentos.

A Deus e a todas as boas energias, que me proporcionaram a luz e o discernimento para fazer minhas escolhas, assim como praticar e vivenciá-las.

A estes e a todos os demais que, direta ou indiretamente auxiliaram nesta caminhada, mesmo que não aqui citados, o meu puro e verdadeiro Muito Obrigado.

RESUMO

O rio Madeira tem extensão total de aproximadamente 3.240 km, dos quais cerca de 1.425 km em território brasileiro. Com relação ao padrão de orientação, a princípio seu eixo hidrográfico está alinhado segundo a direção norte/sul, inflectindo bruscamente para nordeste. O rio carrega de 50 a 68 mgL⁻¹ de sais dissolvidos e 15 a 359 mgL⁻¹ de material sólido em suspensão. Parte destes sedimentos carregam traços de metais, configurando a presença de elementos traço, como: arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), crômio (Cr), manganês (Mn), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn).

Neste contexto, este trabalho se objetivou na determinação dos elementos traço em matrizes abióticas coletadas em áreas localizadas na bacia do alto rio Madeira de maneira a avaliar suas distribuições nesta região nas matrizes abióticas: água superficial, solo e sedimento. Além de avaliar a conformidade dos níveis destes elementos, nos períodos de enchente pós- represamento, com a legislação que prevê o teto destas concentrações em amostras locais.

Nas amostras de água superficial, as concentrações de arsênio, cádmio, cromo, níquel, chumbo e selênio foram menores que 0,005 mg L⁻¹. Enquanto que as de Manganês e Zinco apresentaram valores quantificáveis, mas respeitando à resolução CONAMA N° 357/2005. As amostras de solo, apresentaram concentrações de arsênio e selênio menores que 0,5 mg kg⁻¹ em todos os pontos amostrados. Os valores médios para cádmio, crômio, manganês, níquel, chumbo e zinco variaram entre os pontos amostrados, porém etabeleceram conformidade à resolução CONAMA N° 420/2009, que normatiza estas concentrações. Nas amostras de sedimento, as concentrações de arsênio cádmio e selênio foram menores que 0,01 mg kg⁻¹. Já as de crômio, manganês, níquel, chumbo e zinco apresentaram valores superiores e quantificáveis, mas também, ainda abaixo do estabelecido em legislação, a resolução CONAMA N° 454/2012.

ABSTRACT

The Madeira river has total length of approximately 3,240 km, of which about 1,425 km in Brazilian territory. With regard to the pattern of orientation, the principle its hydrographic shaft is aligned according to the north/south, ambit abruptly to the northeast. The river carries 50 to 68 mgL⁻¹ of dissolved salts and 15 to 359 mgL⁻¹ of solid material in suspension. Part of these sediments carry traces of metals, configuring the presence of trace elements, such as arsenic (As), cadmium (Cd), lead (Pb), chrome (Cr), manganese (Mn), nickel (Ni), selenium (Se) and zinc (Zn).

In this context, this work is aimed at the determination of trace elements in arrays abiotic collected in areas located in the alto rio Madeira so as to assess their distributions in this region in abiotic matrices: surface water, soil and sediment. In addition to assessing the conformity of the levels of these elements in periods of flood post- impoundment, with the legislation that provides for the ceiling of these concentrations in local samples.

In samples of surface water, the concentrations of arsenic, cadmium, chromium, nickel, lead and selenium were smaller than 0.005 mg L⁻¹. While Manganese and zinc values were quantifiable, but respecting the CONAMA resolution no. set by Ruling 357/2005. The soil samples showed concentrations of arsenic and selenium levels lower than 0.5 mg kg⁻¹ at all sampling points. The mean values for cadmium, chrome, manganese, nickel, lead and zinc ranged between the sampled points, however established according to CONAMA resolution no. 420/2009, which regulates these concentrations. In sediment samples, the concentrations of arsenic cadmium and selenium were smaller than 0.01 mg kg⁻¹. Already the chrome, manganese, nickel, lead and zinc were higher and quantifiable, but also below the fixed by legislation, the CONAMA resolution no. 454/2012.

Sumário

1- INTRODUÇÃO.....	5
2- OBJETIVOS.....	17
3- ÁREA DE ESTUDO.....	18
4- METODOLOGIA.....	19
4-1 Matrizes.....	20
4-1-2 Água superficial.....	20
4-1-2 Solo.....	20
4-1-3 Sedimento.....	20
4-2 Análise dos Dados.....	21
5- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5-1 Concentrações de elementos traço em água superficial.....	22
5-2 Concentrações de elementos traço em amostras de solo.....	27
5-3 Concentrações de elementos traço em sedimento.....	49
6- ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	59
7- CONCLUSÃO.....	69
8- CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

1- INTRODUÇÃO

O rio Madeira tem extensão total de aproximadamente 3.240 km, dos quais cerca de 1.425 km em território brasileiro. Com relação ao padrão de orientação, a princípio seu eixo hidrográfico está alinhado segundo a direção norte/sul, inflectindo bruscamente para nordeste ao receber as águas de um de seus afluentes, o rio Abunã, seguindo essa direção até a sua foz, no rio Amazonas (Figura 1). Estas diferentes direções estão condicionadas às orientações tectônicas e foram aproveitadas pelo rio para abrir sua calha. Em seu trecho com direção nordeste, o divisor de água entre a bacia do rio Madeira e outras bacias hidrográficas que compõem a rede de drenagem da área (rio Ituxi) se posiciona muito próximo e paralelo ao Madeira, de modo que este apresenta afluentes expressivos apenas na margem direita, fato que define na sua bacia, a assimetria verificada nas bacias de outros grandes rios amazônicos (Figura 2).

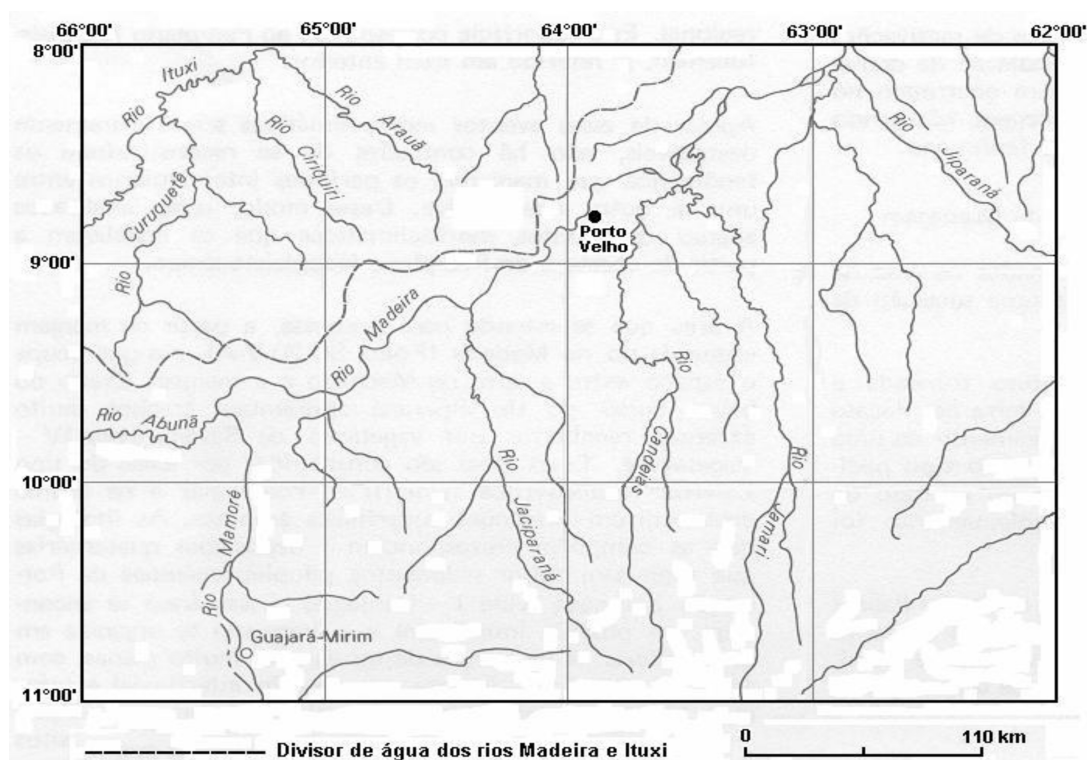


Figura 1 – Assimetria da Bacia do Rio Madeira. Fonte: Adaptado do Estudo de Impacto Ambiental – Aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira/Rondônia – Tomo A volume 1 (A) (2005).

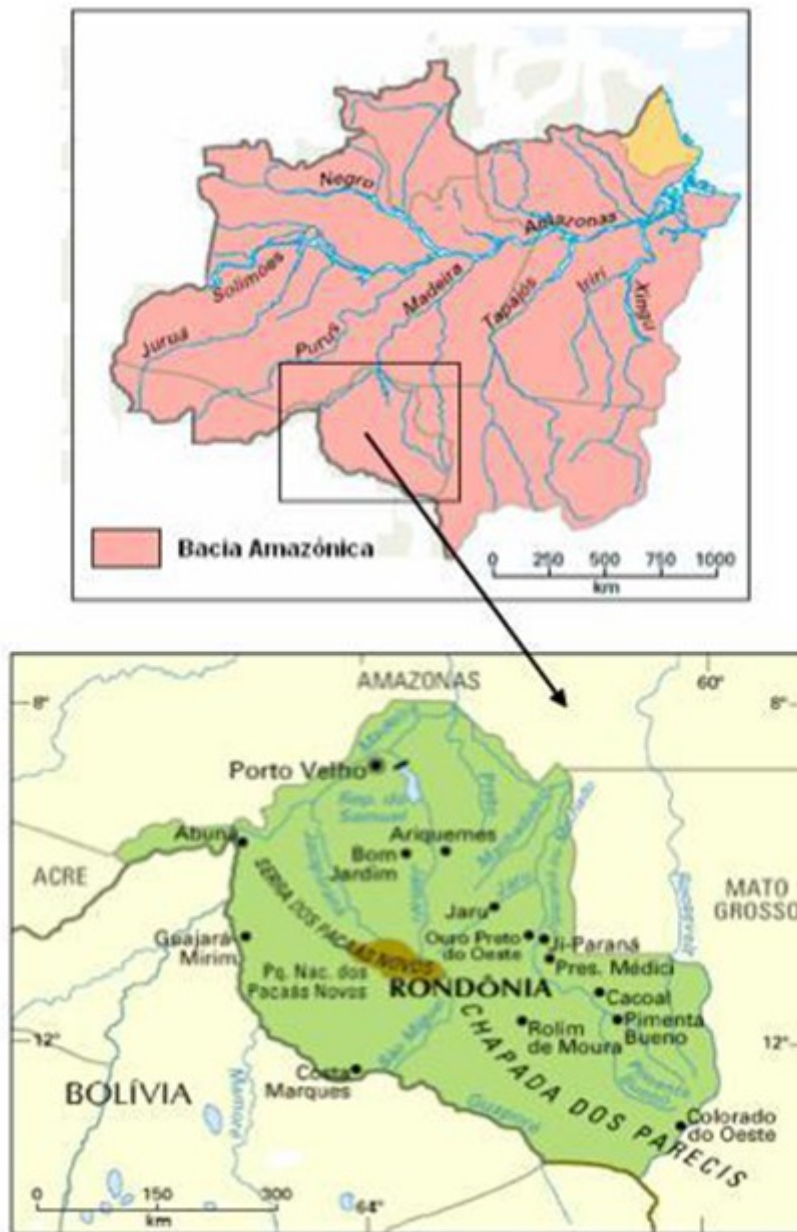
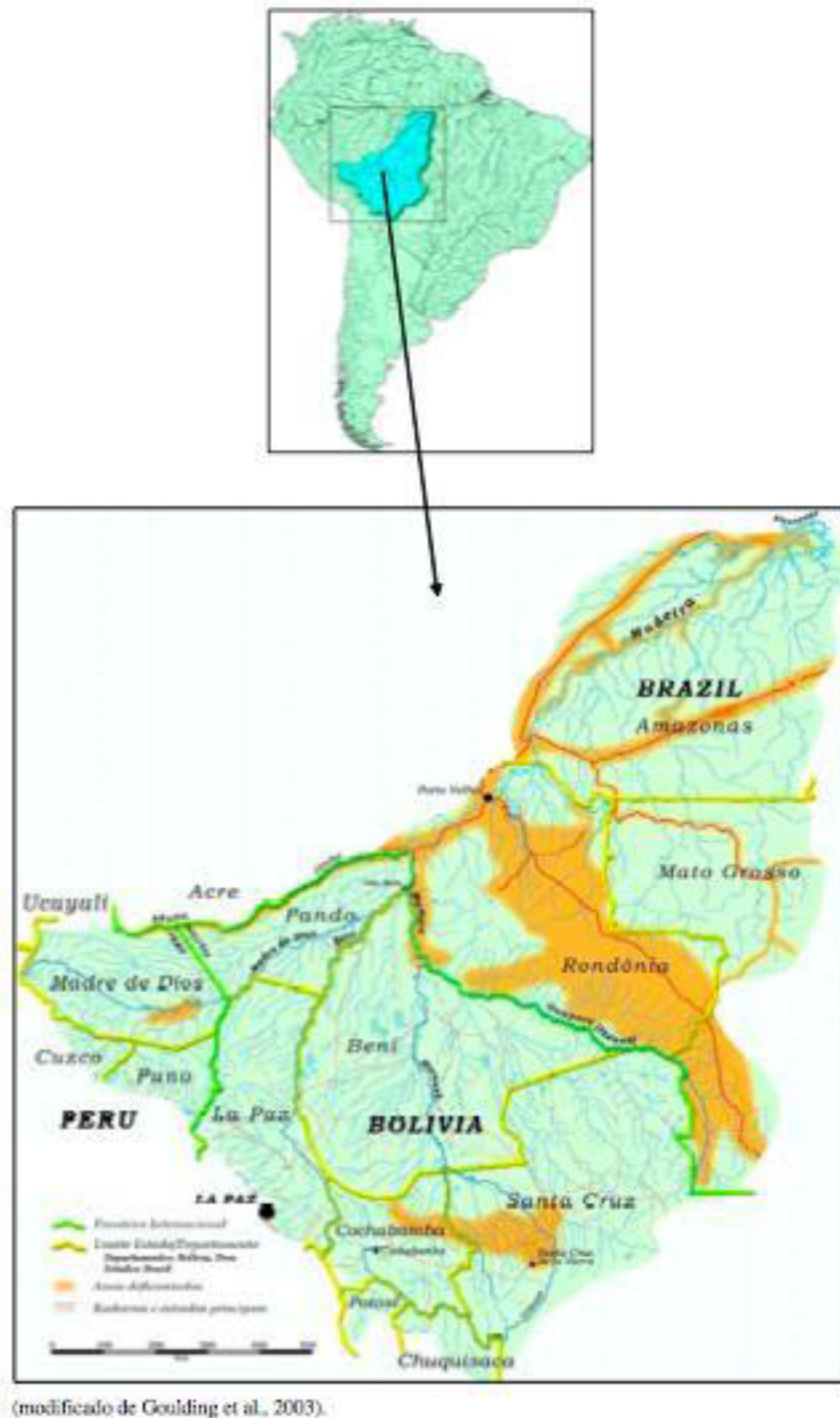


Figura 2 – Mapa esquemático mostrando a região de estudo. Fonte: Adaptado do Estudo de Impacto Ambiental – Aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira/Rondônia – Tomo A volume 1 (A) (2005).

Em território rondoniense, os principais afluentes pela margem direita são os rios Ribeirão, Castanho, Mutum-Paraná, Jaci-Paraná, São Francisco, Caracol, Candeias, Jamari e Jiparaná, além dos igarapés das Araras, Mururé e Cirilo. Dentre os afluentes do rio Madeira pela margem esquerda, destaca-se apenas o rio Abunã; os outros são curtos e pouco significativos (rios Ferreiros, São Lourenço e Aponiã, bem como os igarapés São Simão, Maparaná e Cuniã).

A bacia hidrográfica do rio Madeira, ou vale do Madeira, tem área total de aproximadamente 1,47 milhões de km, representando cerca de 23% da Bacia Amazônica, sendo aproximadamente o dobro do tamanho de qualquer outra bacia tributária, e abrange parcialmente os territórios da Bolívia (40%), Brasil (50%) e do Peru (10%). Em território brasileiro, estende-se pelos Estados de Mato Grosso, Rondônia, Acre e Amazonas, sendo delimitado a leste pela bacia do rio Tapajós e a oeste pela bacia do rio Purus, ambos afluentes do rio Amazonas (Figura 3 e Figura 4). É geologicamente e geograficamente complexa, porque além de ser um rio extenso, suas cabeceiras têm origem nos flancos altamente erosivos dos Andes, no Escudo brasileiro desnudado e antigo, e nas terras baixas do Terciário cobertas por florestas, ou seja, nos três principais tipos de áreas de drenagem da Bacia Amazônica (Figura 4 e Figura 5). Portanto, a água flui pelas zonas de relevo, litologia, clima e vegetação variada, as quais determinam características hidrológicas e hidroquímicas diversificadas. Contudo, é a primeira das três áreas de drenagem que controlam a hidroquímica do rio Madeira (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira-RO, 2005).



(modificado de Goulding et al., 2003).

Figura 3 – Mapa esquemático mostrando a localização e dimensão da bacia de drenagem do rio Madeira. Fonte: Adaptado do Estudo de Impacto Ambiental – Aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira/Rondônia – Tomo A volume 1 (A) (2005).

A captação de água da bacia do rio Madeira pode ser considerada atípica em relação às demais bacias hidrográficas da Amazônia. Seus afluentes são de pequena importância quanto à descarga hídrica, constituindo apenas 25% do total

do volume de água do Madeira. Por essa razão, o regime hídrico é discordante com o sistema Solimões/Amazonas, estando o regime de cheia e vazante relacionado com o clima da região Andina do leste da Bolívia. Seu regime hidrológico é caracterizado por um período de águas baixas, de Julho a Outubro, e um período de águas altas, de Fevereiro a Maio. As vazões mínimas do ano ocorrem com maior frequência em Setembro, enquanto as máximas verificam-se em Março e Abril. Esse comportamento sazonal da bacia do Madeira é coincidente com o de outras bacias da Região Norte (Figura 6). A flutuação média anual da água do rio varia entre 10,8 a 12,4 metros. A variação entre o pico de água alta e água baixa é de aproximadamente 15,4 a 21,8 metros (GOULDING *et al.*, 2003).

De acordo com seu perfil longitudinal, o rio Madeira apresenta características predominantes de rios de planalto e de planície. No seu alto curso, que se estende da confluência dos rios Beni e Mamoré até as proximidades da cidade de Porto Velho (cerca de 60 km), o rio corta litologias pré-cambrianas da Encosta Setentrional do Planalto Brasileiro. Por essa razão, apresenta uma geomorfologia condizente com rios de planalto, como alta declividade e um relevo rico em corredeiras, lajeados e cachoeiras. No trecho em questão, entre Abunã e Porto Velho, o Madeira percorre cerca de 300 km e apresenta um desnível em torno de 39 metros, que corresponde a um gradiente médio da ordem de 13 cm/km. Para efeito de comparação, o rio Amazonas percorre cerca de 1.500 km de Manaus à sua foz, no oceano Atlântico, com um desnível total de 15 metros e um gradiente médio de aproximadamente 1cm/km.

O Alto Madeira (acima da comunidade de Vila Bella) não apresenta condições de navegabilidade devido ao elevado número de cachoeiras e corredeiras que marcam pequenas rupturas de declive ao longo do seu leito em consequência do afloramento de rochas cristalinas. São 18 ao todo, das quais se destacam as cachoeiras de Pederneira, Paredão, Três Irmãos, Jirau, Caldeirão do Inferno, Morrinhos, Teotônio e Santo Antônio. Entretanto, com a construção das Hidrelétricas de Santo Antonio e Jirau, várias dessas cachoeiras não existem mais em consequência dos represamentos.

No trecho restante, a partir de Porto Velho até sua foz, no rio Amazonas (cerca de 1040 km), que corresponde ao seu curso médio-baixo, o rio Madeira

apresenta-se como um típico rio de planície. Nesse trecho, o rio drena áreas de sedimentos terciários da Formação Solimões, apresenta largura média de 1.000 m e gradiente médio da ordem de 1,7 cm/km. Em seu curso planiciário, o Madeira apresenta boas condições de navegabilidade devido à ausência de cachoeiras e corredeiras. Contudo, por ser considerado um rio novo (sob o ponto de vista geológico), ou seja, em fase de busca do seu leito definitivo, é comum a alteração do canal de navegação a cada ciclo hidrológico (EIA – Estudo de Impacto Ambiental - Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – rio Madeira-RO, 2005).

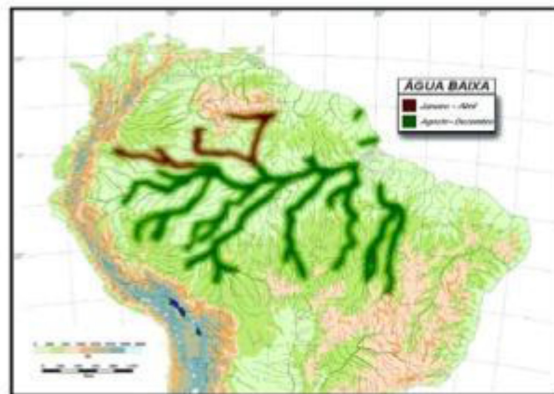
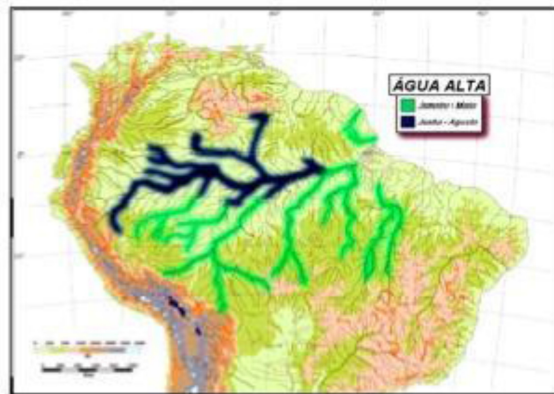
O volume de água do Madeira é elevado, sua descarga anual média foi estimada em 29.000 m³/s na foz, com valores máximos de 40.000 m³/s na cheia e mínimos de 4.000 m³/s na vazante (MARTINELLI *et al.*, 1988). Dentre os afluentes amazônicos, é o maior tributário em termos da descarga de água, contribuindo com aproximadamente 15% da descarga líquida total do rio Amazonas (MARTINELLI *et al.*, 1988) (Figura 7). De fato, por sua extensão e caudal, o rio Madeira constitui o segundo maior sistema de água branca da Amazônia, situando-se atrás do rio Solimões-Amazonas.

O rio Madeira se caracteriza por intensos gradientes que podem ser de natureza hidrológica (oscilação do regime fluvial), tectônica/geomorfológica (alteração do canal fluvial), hidráulica (poder energético da massa de água) e de transporte de sedimentos (BERNARDI *et al.*, 2009). As oscilações fluviais influenciam em algumas variações ocorrentes no complexo das bacias hidrográficas do Amazonas. A divisão das águas amazônicas em brancas, pretas e claras (SIOLI, 1950) apud MARTINELLI (1986), baseia-se principalmente nas características ópticas, associadas às características químicas dos rios e sua área predominante de ocorrência. As águas brancas têm menor penetração e maior refletância da luz incidente, observando o inverso para as águas pretas e claras (MUNTZ, 1978). A menor penetração de luz nas águas brancas deve-se essencialmente a grande quantidade de sedimentos por elas carregada. Adicionalmente, mecanismos de retro espalhamento (dispersão) da luz incidente pelas partículas em suspensão, induzem a maior refletância, acentuando a atenuação da luz com a profundidade (KIRK, 1980). Nas águas pretas, o principal fator que restringe a visibilidade é a cor devida à grande presença de substâncias húmicas dissolvidas; contudo, em consequência dos baixos teores de matéria em suspensão, a refletância é mínima e a atenuação

da luz menos acentuada. As águas claras são bastante transparentes, devido essencialmente aos baixos teores de material orgânico dissolvido e em suspensão (baixa refletância).



Figura 4 – Mapa esquemático mostrando a localização das principais tributárias do rio Madeira. Fonte: Adaptado do Estudo de Impacto Ambiental – Aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira/Rondônia – Tomo A volume 1 (A) (2005).



(modificado de Gouling et al., 2003).

(modificado de Gouling et al., 2003).

Figura 5 – Mapa esquemático mostrando as diferenças nos períodos de água alta e água baixa na Bacia Amazônica.

Fonte: Adaptado do Estudo de Impacto Ambiental – Aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira/Rondônia – Tomo A volume 1 (A) (2005).

Figura 6 – Mapa esquemático mostrando a descarga relativa e o fluxo de sedimentos do rio Madeira para o sistema Solimões/Amazonas.

Fonte: Adaptado do Estudo de Impacto Ambiental – Aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau – Rio Madeira/Rondônia – Tomo A volume 1 (A) (2005).

O Madeira é um rio extremamente barrento durante a maior parte do ano, sendo sua carga de sedimentos transportados estimada entre 500 e 600 milhões de toneladas/ano na foz (MARTINELLI *et al.*, 1988), constituindo-se no principal contribuinte (>50%) da carga de sedimentos transportada pelo rio Amazonas (Figura 6). No âmbito de seus formadores, o rio Beni e seu principal tributário, o rio Madre de Dios, são os principais controladores da geoquímica do rio Madeira, pois entregam as cargas de sedimentos mais pesadas (40.000 a 300.000 toneladas/dia), seguido pelo rio Mamoré (20.000 a 30.000 toneladas/dia). O rio Guaporé, caracterizado como um rio de água clara por drenar a porção sul do Escudo Brasileiro e as terras baixas bolivianas (leste), não apresenta elevada carga de material em suspensão; portanto, perfaz a menor contribuição (53 a 161 toneladas/dia) (DE PAULA, 1990).

O rio Madeira carrega de 50 a 68 mgL⁻¹ de sais dissolvidos e 15 a 359 mgL⁻¹ de material sólido em suspensão. Essa carga de material em suspensão é principalmente originária da região Andina da bacia e está entre as mais elevadas dos rios amazônicos (GIBBS, 1967). Quanto à carga dissolvida, representa cerca de 27% da carga total, e sua concentração é sempre maior na época seca, pois, na época chuvosa, há diluição frente ao acentuado volume de água. Quanto à carga em suspensão, é quase sempre maior na época chuvosa. A carga do leito, considerada pelo autor como a transportada até a distância de 50 cm do fundo, representa parcela muito reduzida do total da carga sólida transportada, com porcentagem sempre inferior a 10% (GIBBS, 1967).

O termo elemento traço é geralmente utilizado para se definir metais que podem estar presentes predominantemente nas formas catiônica ou oxianiónica em baixas concentrações no ambiente. A dispersão desses elementos pode ocorrer na forma de íons livres ou complexos em solução, adsorvidos ou coprecipitados em sólidos finos (óxidos hidratados, argilominerais, matéria orgânica) ou em colóides. A principal via de intoxicação de seres humanos por poluentes orgânicos e inorgânicos está associada aos sistemas aquáticos, destacando-se o consumo de pescado (Mackay, 1991). Os riscos à saúde associados à ingestão de pescado são de 20 a 40 vezes mais elevados quando comparado à ingestão de água com elevados níveis de elementos traço (Foran, 1990). Este fato está associado à capacidade dos organismos aquáticos bioacumularem os elementos traço em concentrações muito maiores que as observadas no ambiente (Wren *et al.*, 1983). As concentrações dos elementos traço em um dado organismo não podem ser consideradas como um valor constante, mas sim como um fator sujeito às influências das variações bióticas (endogênicas e exogênicas) e abióticas do ambiente (Dorea *et al.*, 1998).

2- OBJETIVOS

Quantificar as concentrações dos elementos traço na Bacia do alto rio Madeira, em matrizes ambientais abióticas após o represamento de suas águas, projetando o uso dos dados como referência para estudos comparativos de conformidade às leis em que se enquadram.

Objetivos Específicos

I- Determinar os elementos traço em matrizes ambientais abióticas coletadas em áreas localizadas na bacia do alto rio Madeira de maneira a avaliar suas distribuições nesta região.

II- Determinar os níveis de elementos traço encontrados nas águas da bacia do alto rio Madeira nos períodos de enchente de 2010 a 2014.

III- Avaliar a conformidade dos níveis de elementos traço encontrados nas matrizes ambientais abióticas, nos períodos de enchente pós- represamento, com a legislação que prevê o teto destas concentrações.

3- ÁREA DE ESTUDO

O desenho amostral utilizado neste trabalho está apresentado de forma detalhada no Quadro 01 e na Figura 7.

Quadro 01 - Pontos de amostragem com descrições e coordenadas geográficas referentes aos pontos de coletas de amostras de interesse ambiental localizados em áreas da bacia do alto rio Madeira.

Pontos	Descrição	Coordenadas geográficas	
		Latitude (UTM)	Longitude (UTM)
P1-MAM	Rio Mamoré	237100	8850647
P1.2-BENI	Foz do Rio Beni – Brasil	237003	8850599
P2-MAD 1	Rio Madeira, próximo ao antigo Mad 1	240990	8857436
P3-RIB	Igarapé Ribeirão	249955	8867955
P4-ARA	Igarapé Araras	246246	8892119
P5-ABU	Rio Abunã	232136	8929302
P6-MAD 2A-MD	Rio Madeira, próximo ao antigo Mad 2	232648	8934445
P8-SIM	Igarapé São Simão	247667	8947925
P10-CAS	Igarapé Castanho	266274	8937755
P11-MTP 1	Rio Mutum-Paraná	282932	8929404
P13-MUT 1	Área alagada de Mutum	287058	8936335
P20-MTP 2	Foz Mutum	289557	8937720
P14-MAD 4	Rio Madeira, próximo ao antigo Mad 4	291344	8939291
P15-LOU	Igarapé São Lourenço	297204	8960257
P16-CAI	Igarapé Caiçara	299438	8960269
P17-JIR	Igarapé Jirau	308123	8964160
P18-MAD 5	Rio Madeira, próximo ao antigo Mad 5	309788	8966289
P19-MAD 6	Rio Madeira, próximo ao antigo Mad 6	322688	8982823

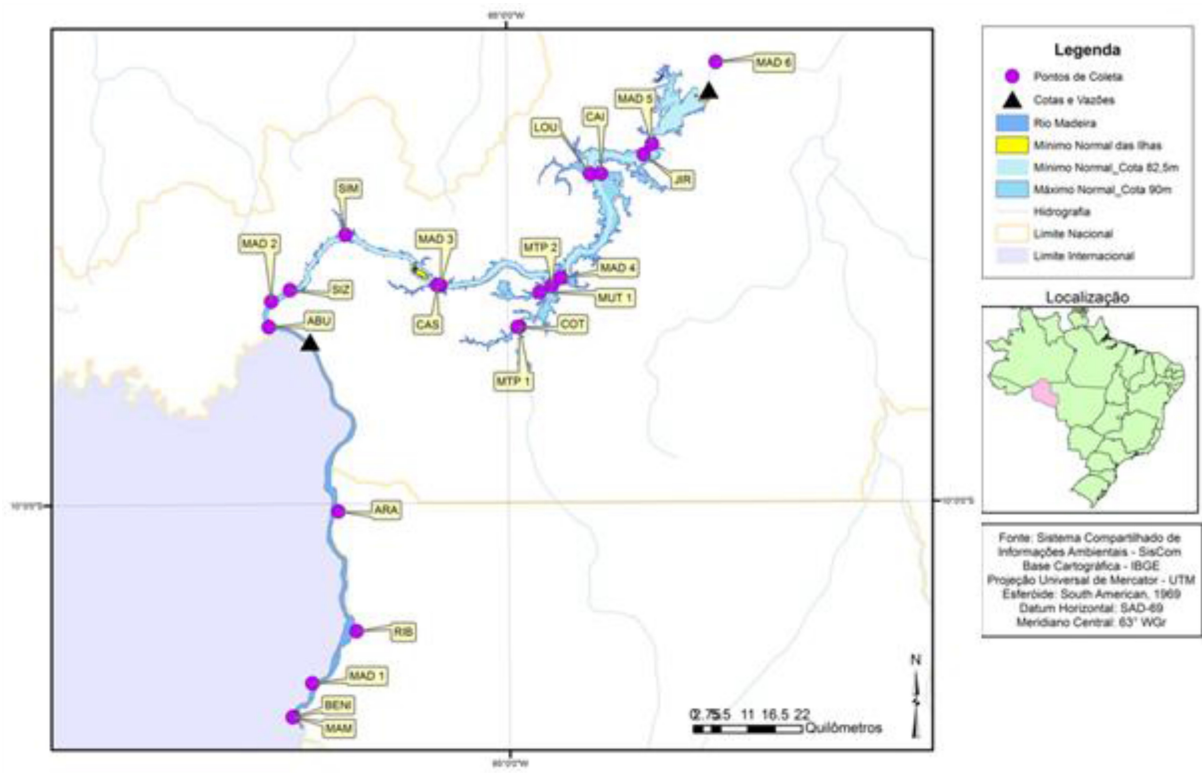


Figura 7 – Desenho amostral dos pontos de coleta de amostras de interesse ambiental localizados na bacia do alto rio Madeira.

4- METODOLOGIA

O monitoramento de elementos traço tem uma abordagem interdisciplinar e multi-institucional nos vários níveis possíveis de interação, de modo a integrar o conhecimento ambiental e suas inter-relações com a saúde humana, possibilitando prognosticar e mensurar as possíveis modificações advindas das transformações ambientais, decorrentes, por exemplo, devido implantação e operação de empreendimentos do setor hidrelétrico. Os elementos traço arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), crômio (Cr), manganês (Mn), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn) foram determinados em matrizes de interesse ambiental coletadas em áreas localizadas na bacia do alto rio Madeira RO.

4-1 Matrizes

4-1-2 Água superficial

As amostras de água foram coletadas em garrafas de polietileno tereftalato, preservadas com ácido nítrico (HNO_3 65% ultra-puro, Merck), mantendo o pH inferior a 2,0 até o momento das análises, conforme orientação da EPA (*Environmental Protection Agency*). As amostras foram identificadas em campo e encaminhadas ao Laboratório de Química Ambiental da Universidade Estadual Paulista (UNESP), sendo conservadas a 4 °C até o momento da análise. A determinação dos teores dos elementos traço Cd, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn foram feitas por espectrometria de emissão atômica por plasma de argônio induzido (ICP OES). Arsênio e selênio, foram quantificados por espectrometria de emissão atômica por plasma de argônio induzido acoplado a geração de hidreto (ICP OES – Hg).

4-1-2 Solo

As amostras de perfil de solo foram coletadas em 5, 20, 40, 60 e 100 cm, acondicionadas em sacos de polietileno e mantidas resfriadas a 5 °C até o momento de preparação e análise em laboratório. Após homogeneinização, foram peneiradas e a fração <200 mesh (<74 μm) foi digerida em meio ácido. Os teores de Cd, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn foram determinados por espectrometria de emissão atômica por plasma de argônio induzido (ICP OES). Arsênio e selênio, foram quantificados por espectrometria de emissão atômica por plasma de argônio induzido acoplado a geração de hidreto (ICP OES – Hg). Além da determinação da concentração de elementos traço, também foram feitas análises granulométricas e determinação do teor de matéria orgânica nas amostras de solo.

4-1-3 Sedimento

As amostras de sedimento foram coletadas utilizando-se coletor pontual (draga de Eckman), permitindo a coleta da camada superficial mais reativa do

sedimento. Após coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno, mantidas resfriadas a 4 °C até o momento de preparação e análise em laboratório. Estas foram inicialmente homogeneizadas a úmido nos próprios sacos de polietileno utilizados em campo, via aplicação de água ultrapura (Milli-Q, Milipore) sendo posteriormente peneiradas na fração <200 mesh (<74 µm), considerada a mais ativa fisicamente em processos de adsorção, por possuir maior área superficial (Bastos, 1997). Em seguida, a fração fina do sedimento foi homogeneizada em gral de porcelana, seca em estufa a temperatura inferior a 50°C e digerida em meio ácido. Os teores de Cd, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn foram quantificados por espectrometria de emissão atômica por plasma de argônio induzido (ICP OES), enquanto As e Se foram quantificados por espectrometria de emissão atômica por plasma de argônio induzido acoplado a geração de hidreto (ICP OES – Hg).

4-2 Análise dos Dados

Foi utilizada a plataforma do ArcGIS (Esri), onde são tabuladas as informações georreferenciadas dos pontos de coleta. A partir do banco de dados foram aplicadas técnicas de modelagem em análise espacial geoestatística e de estatísticas multivariadas as quais são ferramentas importantes na quantificação e interpretação de dados multivariados.

As análises multivariadas foram empregadas para explorar as informações obtidas no banco de dados, a fim de reduzir o volume de informações a serem interpretadas, testar as hipóteses levantadas com base nas matrizes bióticas e abióticas evidenciadas e para obter as listagens de informações indicadoras de cada grupo. Os dados obtidos foram analisados por estatística multivariada na obtenção de ordenação, classificação, correspondência e discriminação de variáveis e fatores ambientais. A validação dessas técnicas e sua utilização para interpretar dados ecológicos foi feita por Gauch (1986) e Ludwig & Reynolds (1988) e posteriormente por Wold *et al.* (1987), Odden & Kvalheim, (2000) e Wang & Du (2000).

5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

5-1 Concentrações de elementos traço em água superficial

As concentrações dos elementos traço em água superficial nas amostras coletadas na bacia do rio Madeira estão apresentadas na **Tabela 01**.

Tabela 01. Concentrações (mg L^{-1}) de As, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Se e Zn nas amostras de água superficial coletadas em pontos de amostragens localizados na bacia do alto rio Madeira.

Ponto	Tipo	As	Cd	Cr	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
P1-MAM	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,256	<0,005	<0,005	<0,005	0,025
P1.2-BENI	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,300	<0,005	<0,005	<0,005	0,043
P2-MAD	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,198	<0,005	<0,005	<0,005	0,012
1A-MD									
P2-MAD	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,318	<0,005	<0,005	<0,005	0,038
1B-Centro									
P2-MAD	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,213	<0,005	<0,005	<0,005	0,04
1C-ME									
P3-RIB	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,484	<0,005	<0,005	<0,005	0,013
P4-ARA	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,447	<0,005	<0,005	<0,005	0,038
P5-ABU	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,386	<0,005	<0,005	<0,005	0,051
P6-MAD	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,218	<0,005	<0,005	<0,005	0,019
2A-MD									
P6-MAD	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,315	<0,005	<0,005	<0,005	0,023
2B-Centro									
P6-MAD	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,193	<0,005	<0,005	<0,005	0,031
2C-ME									
P7-SIZ	Tributário	<0,005	<0,005	0,015	0,576	<0,005	<0,005	<0,005	0,048
P8-SIM	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,476	<0,005	<0,005	<0,005	0,023
P9-MAD	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,396	<0,005	<0,005	<0,005	0,042
3A-MD									
P9-MAD	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,341	<0,005	<0,005	<0,005	0,022
3B-Centro									
P9-MAD	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,365	<0,005	<0,005	<0,005	0,023
3C-ME									
P10-CAS	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,655	<0,005	<0,005	<0,005	0,055
P11-MTP 1	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,492	<0,005	<0,005	<0,005	0,021
P12-COT	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,403	<0,005	<0,005	<0,005	0,046
P13-MUT 1	Lago	<0,005	<0,005	0,020	0,620	<0,005	<0,005	<0,005	0,038
P20-MTP 2	Lago	<0,005	<0,005	<0,005	0,442	<0,005	<0,005	<0,005	0,044
P14-MAD	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,394	<0,005	<0,005	<0,005	0,047
4A-MD									
P14-MAD	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,360	<0,005	<0,005	<0,005	0,034
4B-Centro									
P14-MAD	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,479	<0,005	<0,005	<0,005	0,014
4C-ME									
P15-LOU	Tributário	<0,005	<0,005	0,045	0,556	<0,005	<0,005	<0,005	0,035
P16-CAI	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,384	<0,005	<0,005	<0,005	0,033

Tabela 01. Concentrações (mg L⁻¹) de As, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Se e Zn nas amostras de água superficial coletadas em pontos de amostragens localizados na bacia do alto rio Madeira.

Ponto	Tipo	As	Cd	Cr	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
P17-JIR	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,409	<0,005	<0,005	<0,005	0,042
P18-MAD 5A-MD	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,313	<0,005	<0,005	<0,005	0,039
P18-MAD 5B-Centro	Calha	<0,005	<0,005	<0,005	0,280	<0,005	<0,005	<0,005	0,045
P18-MAD 5C-ME	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,386	<0,005	<0,005	<0,005	0,042
P19-MAD 6A-MD	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,462	<0,005	<0,005	<0,005	0,022
P19-MAD 6B-Centro	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,354	<0,005	<0,005	<0,005	0,045
P19-MAD 6C-ME	Tributário	<0,005	<0,005	<0,005	0,404	<0,005	<0,005	<0,005	0,039

Estudos em transecto: A - margem direita do rio, B-centro do rio e C-margem esquerda do rio.

As concentrações de arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), chumbo (Pb) e Se nas amostras de água superficial na calha do rio Madeira e nos tributários foram menores que 0,005 mg L⁻¹.

As concentrações de manganês (Mn) nas amostras de água superficial coletadas na calha do rio Madeira, apresentaram mediana 0,329 e valor médio 0,327 ± 0,083 mg L⁻¹, enquanto nos tributários a mediana foi 0,476 e o valor médio 0,487 ± 0,090 mg L⁻¹. O estudo em transecto indica uma tendência heterogênea das concentrações de Mn ao longo do rio Madeira (**Figura 02**), sendo no rio Mamoré (P1-MAM) 0,256 e o rio Beni (P1.2-BENI) 0,300 mg L⁻¹, seguido por P2-MAD 1 0,243 ± 0,065, P6-MAD 2 0,242 ± 0,064, P9-MAD 3 0,367 ± 0,028, P14-MAD 4 0,411 ± 0,061, P18-MAD 5 de 0,326 ± 0,054 e P19-MAD 6 de 0,407 ± 0,054 mg L⁻¹.

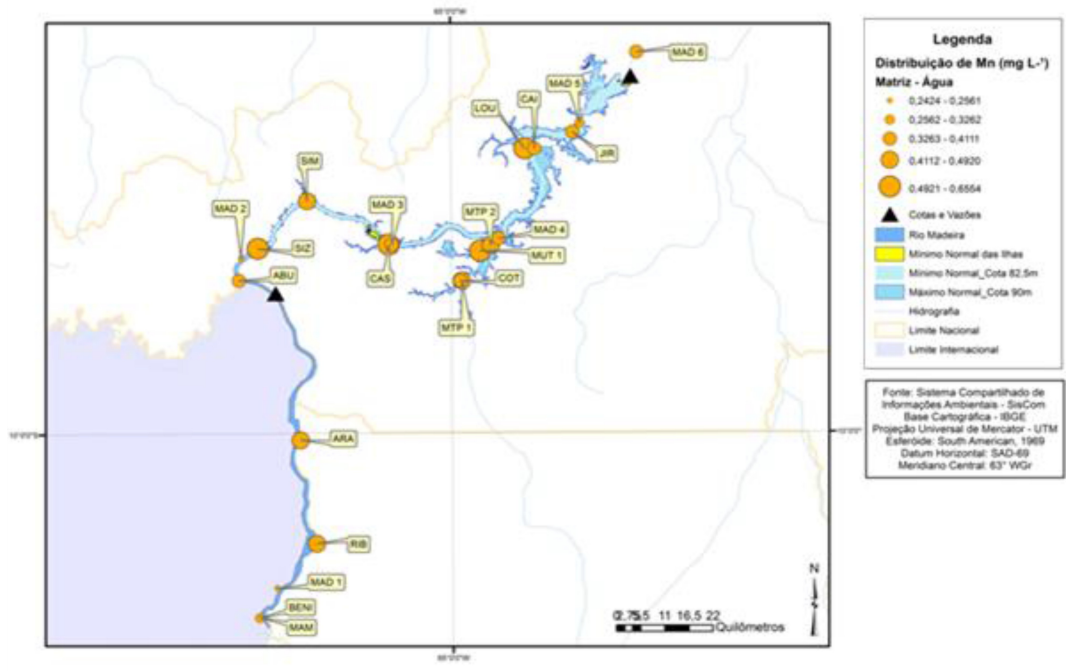


Figura 8 – Distribuição das concentrações de manganês nas amostras de água superficial coletadas em pontos de amostragens localizados na bacia do alto rio Madeira.

As concentrações de Mn nas amostras de água superficial no período hidrológico amostrado (**Figura 9**) caracteriza maiores concentrações na calha do rio Madeira quando comparado aos tributários.

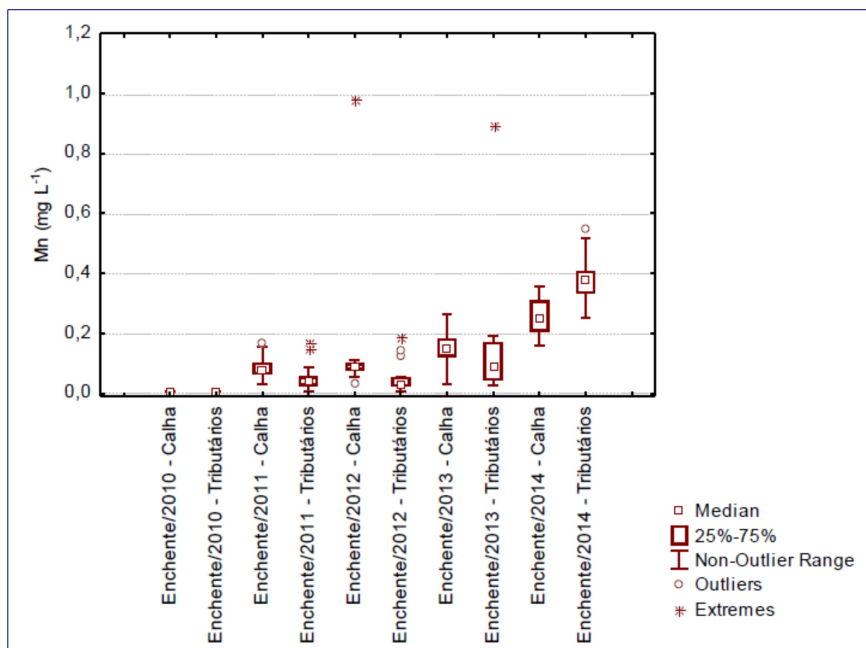


Figura 9 – Boxplot das concentrações de manganês nas amostras de água superficial coletadas em pontos de amostragens localizados na bacia do alto rio Madeira.

As concentrações de zinco (Zn) nas amostras de água superficial coletadas na calha do rio Madeira, apresentaram mediana 0,036 e valor médio $0,032 \pm 0,011$ mg L⁻¹, enquanto nos tributários a mediana foi 0,038 e o valor médio $0,037 \pm 0,012$ mg L⁻¹. O estudo em transecto indica uma tendência heterogênea dos níveis de Zn ao longo do rio Madeira (**Figura 10**), sendo no rio Mamoré (P1-MAM) 0,025 e o rio Beni (P1.2-BENI) 0,43 mg L⁻¹, seguido dos valores P2-MAD 1 de $0,030 \pm 0,016$, P6-MAD 2 de $0,024 \pm 0,006$, P9-MAD 3 de $0,029 \pm 0,0011$, P14-MAD 4 de $0,032 \pm 0,017$, P18-MAD 5 de $0,042 \pm 0,003$ e P19-MAD 6 $0,035 \pm 0,012$ mg L⁻¹.

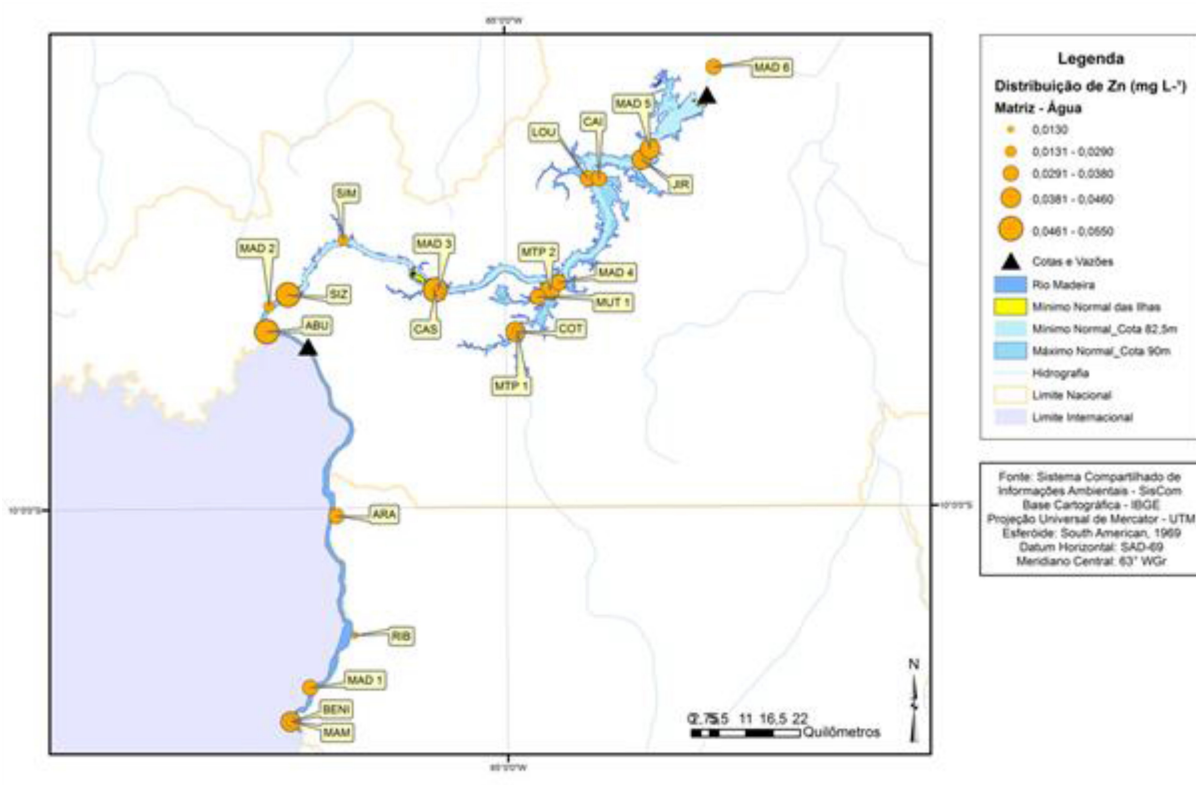


Figura 10 – Distribuição das concentrações de zinco nas amostras de água superficial coletadas em pontos de amostragem localizados na bacia do alto rio Madeira.

As concentrações de Zn nas amostras de água superficial nos período hidrológico amostrado (**Figura 11**) caracteriza maiores concentrações na calha do rio Madeira quando comparado aos tributários.

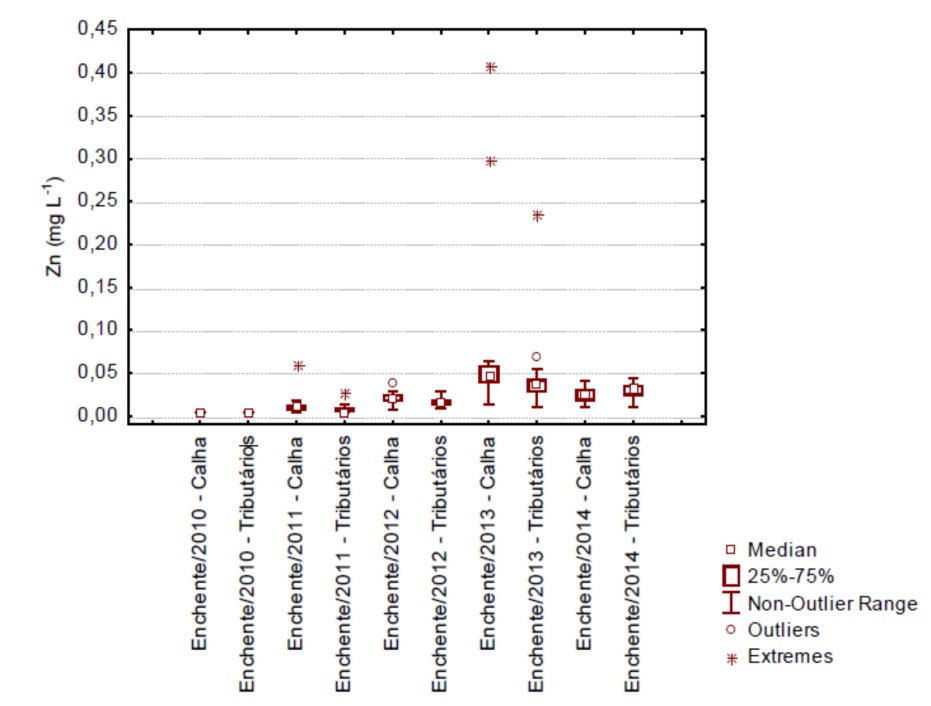


Figura 11– Boxplot das concentrações de zinco nas amostras de água superficial coletadas em pontos de amostragens localizados na bacia do alto rio Madeira.

A Resolução CONAMA 357/2005, que dispõe sobre as classificações dos corpos de água e as diretrizes ambientais para seu enquadramento, preconiza para sistema de água doce classe II o padrão de 0,010 mg L⁻¹ As; 0,001 mg L⁻¹ Cd; 0,050 mg L⁻¹ Cr; 0,100 mg L⁻¹ Mn; 0,025 mg L⁻¹ Ni; 0,010 mg L⁻¹ Pb; 0,010 mg L⁻¹ Se e 0,180 mg L⁻¹ para Zn.

A Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, a qual estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, preconiza os seguintes padrões de aceitação para o consumo humano: 0,010 mg L⁻¹ As; 0,005 mg L⁻¹ Cd; 0,050 mg L⁻¹ Cr; 0,100 mg L⁻¹ Mn; 0,010 mg L⁻¹ Pb; 0,010 mg L⁻¹ Se e 5,0 mg L⁻¹ para Zn.

Os estudos indicam maiores aportes de Mn e Zn nos tributários e na calha do rio Madeira possivelmente devido ao aumento da área permanentemente alagada. Entretanto, os teores de elementos traço encontrados em todas as amostras analisadas atendem os valores preconizados pela legislação brasileira, com exceção do Mn que apresenta valores pouco acima.

5-2 Concentrações de elementos traço em amostras de solo

O padrão sazonal dominante na bacia Amazônica caracteriza uma sazonalidade de precipitação pluviométrica na bacia, resultando em períodos bem definidos de águas altas e águas baixas. O padrão monomodal de descarga dos rios amazônicos ou pulsos de inundação, combinado com a topografia plana de grande parte da bacia (planície amazônica), inunda e drena anualmente grandes áreas adjacentes aos rios, as quais correspondem às planícies de inundação. As variações do nível hidrológico determinam o pulso sazonal de inundação, o qual causa um ciclo de carreamento de sedimentos e nutrientes pelo canal do rio. O aporte cíclico desses sedimentos determina características peculiares aos ambientes de várzea e aos sistemas conectados a ele, tornando-os altamente produtivos, com composição ictiofaunística reconhecidamente de alto valor ecológico. Os teores médios dos elementos traço em amostras de solo coletadas na bacia do rio Madeira estão apresentados na **Tabela 02**.

Tabela 02. Concentrações (mg kg^{-1}) de As, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Se e Zn em perfil de solo (cm) em horizontes coletados na área de influência direta e indireta do rio Madeira e seus tributários, período de enchente (18 a 25/01/2014).

Pontos	Perfil (cm)	As	Cd	Cr	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
P1	5	<0,50	0,99	7,92	256,87	11,55	9,94	<0,50	57,11
P1	20	<0,50	0,83	10,95	368,98	17,41	10,64	<0,50	73,04
P1	40	<0,50	1,05	6,79	279,31	11,98	8,51	<0,50	55,26
P1	60	<0,50	1,08	7,34	278,31	11,48	9,15	<0,50	53,55
P1	100	<0,50	0,98	10,23	340,43	14,81	11,78	<0,50	88,15
P2	5	<0,50	0,47	4,07	360,55	13,08	22,69	<0,50	24,48
P2	20	<0,50	0,53	4,02	377,81	14,67	26,55	<0,50	27,46
P2	40	<0,50	0,37	2,31	301,36	17,46	17,45	<0,50	37,78
P2	60	<0,50	0,83	3,79	191,12	19,18	22,11	<0,50	40,19
P2	100	<0,50	0,71	4,65	172,84	16,48	26,04	<0,50	61,71
P3	5	<0,50	0,73	4,54	196,34	16,77	14,72	<0,50	73,31
P3	20	<0,50	0,65	4,82	175,69	16,58	11,68	<0,50	73,85
P3	40	<0,50	0,69	5,83	192,84	17,97	12,79	<0,50	68,78
P3	60	<0,50	1,11	9,08	208,32	21,55	18,88	<0,50	89,63
P3	100	<0,50	0,96	7,32	252,83	20,88	14,24	<0,50	79,04

Tabela 02. Concentrações (mg kg^{-1}) de As, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Se e Zn em perfil de solo (cm) em horizontes coletados na área de influência direta e indireta do rio Madeira e seus tributários, período de enchente (18 a 25/01/2014) – Continuação.

Pontos	Perfil (cm)	As	Cd	Cr	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
P4	5	<0,50	0,69	4,94	172,84	14,97	12,45	<0,50	42,81
P4	20	<0,50	0,76	5,28	169,19	15,77	15,87	<0,50	44,95
P4	40	<0,50	0,54	3,91	119,55	18,92	10,62	<0,50	58,19
P4	60	<0,50	0,57	4,02	120,57	10,19	10,55	<0,50	50,28
P4	100	<0,50	0,68	4,33	131,37	10,72	11,07	<0,50	59,58
P5	5	<0,50	0,63	1,84	92,88	9,59	6,35	<0,50	24,51
P5	20	<0,50	1,09	2,48	194,53	16,61	8,31	<0,50	26,68
P5	40	<0,50	0,89	3,72	183,03	19,56	12,02	<0,50	38,67
P5	60	<0,50	1,06	3,35	210,85	20,58	10,31	<0,50	35,46
P5	100	<0,50	0,97	4,23	256,26	14,39	10,74	<0,50	42,24
P6	5	<0,50	0,47	1,96	89,86	7,69	9,11	<0,50	25,76
P6	20	<0,50	0,56	2,83	95,33	9,87	10,33	<0,50	29,76
P6	40	<0,50	0,43	1,94	99,96	9,25	8,47	<0,50	26,92
P6	60	<0,50	0,51	2,81	121,06	10,22	10,16	<0,50	35,45
P6	100	<0,50	0,54	2,96	125,02	14,08	10,05	<0,50	37,54
P7	5	<0,50	0,66	4,66	15,92	3,33	4,96	<0,50	43,71
P7	20	<0,50	0,79	1,24	25,44	4,79	5,28	<0,50	31,41
P7	40	<0,50	0,81	3,99	19,89	6,88	5,17	<0,50	30,06
P7	60	<0,50	0,77	5,41	27,44	3,61	4,34	<0,50	41,69
P7	100	<0,50	0,92	7,16	38,43	5,88	6,56	<0,50	56,49
P8	5	<0,50	0,46	10,17	67,54	8,66	16,67	<0,50	79,99
P8	20	<0,50	0,58	6,22	62,87	7,96	14,88	<0,50	77,15
P8	40	<0,50	0,41	6,72	57,06	8,89	19,36	<0,50	58,48
P8	60	<0,50	0,77	10,67	81,32	7,12	12,97	<0,50	92,76
P8	100	<0,50	0,63	9,62	66,16	6,08	20,18	<0,50	80,42
P9	5	<0,50	0,55	4,94	100,76	11,26	6,49	<0,50	33,59
P9	20	<0,50	0,56	4,55	91,46	10,15	7,76	<0,50	30,56
P9	40	<0,50	0,63	5,89	107,82	12,79	7,14	<0,50	43,79
P9	60	<0,50	0,72	6,93	146,36	18,24	11,78	<0,50	58,43
P9	100	<0,50	0,77	10,49	170,67	20,87	10,13	<0,50	66,51

Tabela 02. Concentrações (mg kg⁻¹) de As, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Se e Zn em perfil de solo (cm) em horizontes coletados na área de influência direta e indireta do rio Madeira e seus tributário, período de enchente (18 a 25/01/2014) – Continuação.

Pontos	Perfil (cm)	As	Cd	Cr	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
P10	5	<0,50	0,92	7,17	250,64	17,42	18,89	<0,50	64,96
P10	20	<0,50	0,92	7,28	213,04	15,98	16,36	<0,50	62,96
P10	40	<0,50	1,07	9,97	288,28	14,88	20,51	<0,50	76,64
P10	60	<0,50	1,05	9,08	254,81	19,89	17,73	<0,50	78,86
P10	100	<0,50	1,06	10,29	254,74	18,92	20,92	<0,50	82,55
P11	5	<0,50	0,75	2,44	53,41	3,31	2,83	<0,50	21,95
P11	20	<0,50	0,89	2,69	61,51	3,06	2,94	<0,50	25,61
P11	40	<0,50	0,96	3,75	66,47	4,44	4,62	<0,50	39,44
P11	60	<0,50	1,05	4,65	69,02	4,41	5,13	<0,50	38,44
P11	100	<0,50	1,04	4,98	68,95	4,97	5,45	<0,50	47,69
P12	5	<0,50	0,66	9,98	85,08	8,15	4,92	<0,50	40,77
P12	20	<0,50	0,81	11,54	130,83	8,47	7,75	<0,50	48,54
P12	40	<0,50	0,82	10,84	133,07	10,91	10,03	<0,50	43,75
P12	60	<0,50	0,93	12,48	138,29	12,75	12,55	<0,50	46,49
P12	100	<0,50	0,99	12,51	135,09	12,21	12,74	<0,50	43,06
P13	5	<0,50	0,68	3,21	23,21	4,67	4,12	<0,50	33,82
P13	20	<0,50	0,57	2,47	30,71	3,87	3,65	<0,50	23,71
P13	40	<0,50	0,79	2,62	35,49	4,06	4,41	<0,50	29,25
P13	60	<0,50	0,82	3,12	35,92	4,28	3,23	<0,50	36,91
P13	100	<0,50	0,95	3,38	38,59	4,44	4,48	<0,50	31,71
P14	5	<0,50	0,88	6,78	41,07	6,39	6,69	<0,50	26,03

P14	20	<0,50	0,62	8,85	46,74	7,29	7,87	<0,50	31,95
P14	40	<0,50	0,54	9,48	50,72	8,55	7,94	<0,50	38,54
P14	60	<0,50	0,77	7,03	44,18	10,37	9,13	<0,50	42,22
P14	100	<0,50	0,61	9,35	43,97	9,59	8,36	<0,50	47,81

As concentrações de arsênio e selênio nas amostras do perfil do solo foram menores que 0,5 mg kg⁻¹ em todos os pontos amostrados e nas diferentes profundidades.

As concentrações de cádmio nas amostras de perfil de solo coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira apresentaram tendência de distribuição heterogênea ao longo do rio Madeira, sendo que a região dos pontos P2, P4, P6, P7, P8, P9, P13 e P14 apresentou mediana 0,647 e valor médio 0,648 ± 0,097 mg kg⁻¹ e na região dos pontos P1, P3, P5, P10, P11 e P12 apresentou mediana 0,933 e valor médio 0,933 ± 0,073 mg kg⁻¹.

As concentrações de crômio nas amostras de perfil de solo coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira apresentaram tendência de distribuição heterogênea ao longo do rio Madeira, sendo que a região dos pontos P1, P3, P6, P8, P9, P10, P12 e P14 apresentou mediana 8,65 e valor médio 8,39 ± 1,70 mg kg⁻¹ e na região dos pontos P2, P4, P5, P7, P11 e P13 apresentou mediana 3,70 e valor médio 3,58 ± 0,76 mg kg⁻¹.

As concentrações de manganês nas amostras de perfil de solo coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira apresentaram tendência de distribuição heterogênea ao longo do rio Madeira, sendo que a região dos pontos P7, P8, P11, P13 e P14 apresentou mediana 45,34 e valor médio 46,88 ± 18,40 mg kg⁻¹ e na região dos pontos P1, P2, P3, P4, P5, P6, P9, P10 e P12 apresentou mediana 187,51 e valor médio 191,93 ± 73,72 mg kg⁻¹.

As concentrações de níquel nas amostras de perfil de solo coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira apresentaram tendência de distribuição heterogênea ao longo do rio Madeira, sendo que a região dos pontos P7, P8, P11, P13 e P14 apresentou mediana 4,90 e valor médio 5,88 ± 2,06 mg kg⁻¹ e na região dos pontos P1, P2, P3, P4, P5, P6, P9, P10 e P12 apresentou mediana 14,66 e valor médio 14,60 ± 2,91 mg kg⁻¹.

As concentrações de chumbo nas amostras de perfil de solo coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira apresentaram tendência de distribuição heterogênea ao longo do rio Madeira, sendo que a região dos pontos P1, P5, P6, P7, P9, P11, P12, P13 e P14 apresentou mediana 8,66 e valor médio $7,65 \pm 2,48 \text{ mg kg}^{-1}$ e na região dos pontos P2, P3, P4, P8 e P10 apresentou mediana 16,81 e valor médio $17,05 \pm 4,17 \text{ mg kg}^{-1}$.

As concentrações de zinco nas amostras de perfil de solo coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira apresentaram tendência de distribuição heterogênea ao longo do rio Madeira, sendo que a região dos pontos P2, P3, P5, P6, P7, P9, P11, P12, P13 e P14 apresentou mediana 37,82 e valor médio $38,89 \pm 6,80 \text{ mg kg}^{-1}$ e na região dos pontos P1, P7, P8 e P9 apresentou mediana 75,06 e valor médio $73,32 \pm 5,63 \text{ mg kg}^{-1}$.

O estado de Rondônia está inserido no domínio do embasamento cratônico antigo pertencente à Província do Tapajós, Sub-Província do Madeira, que localmente recebe a denominação de Complexo Jamari. A geologia da região é caracterizada pelo embasamento originário dos complexos gnáissicos, granitóides e supracrustais associados, e retrabalhados por rochas intrusivas, com destaque para as graníticas, e encoberta por sequências sedimentares, com ou sem vulcânicas associadas que datam do Proterozóico Médio e Superior (RONDÔNIA, 2002).

Os estudos geológicos da 2ª Aproximação do Zoneamento Ecológico de Rondônia apresentam as informações geológicas detalhadas da bacia do rio Madeira. Com base nesses estudos foi elaborado o mapa com as principais unidades geológicas que ocorrem na área de influência direta e indireta do alto Rio Madeira. Destas, as mais representativas e importantes são:

- **Qpt** (Terraços Fluviais Pleistocênicos) – em paleocanais e relíquias de planícies aluviais (sistemas de megafans, pedimentos e wash-out), no topo de colinas (ou outros altos topográficos), compostos de material pobremente selecionado, compreendendo fragmentos de laterita, areia e argila depositados acima do nível médio dos cursos d'água atuais;
- **Qpa** (Sedimentos Fluviais em Canais Pleistocênicos) - frequentemente abandonados na superfície ou em paleocanais soterrados. Possuem materiais

detríticos mal selecionados, compostos por areia, silte e argila, com níveis conglomeráticos;

- **Qha** (Depósitos Aluvionares em Canais Fluviais e Planícies de Inundação dos Sistemas de Drenagens Atuais) – apresenta materiais detríticos mal selecionados, compostos de sedimentos arenosos, siltosos e argilosos, com horizontes conglomeráticos. Geralmente misturados com materiais coluvionares do Holoceno;

- **TQi** (Coberturas Quaternárias-neogênicas Indiferenciadas) - associada com leques e canais fluviais, planícies de inundação e depósitos de lagos. Constituída de sedimentos de tamanho variado, desde laterita a argila, com lateritização significativa. As rochas geralmente têm uma idade Neogênica (Plioceno-Mioceno), podendo incorporar materiais do Quaternário;

- **PMPja** (Supergrupo Gnaiss-Migmatito Jarú) - constituído por ortognaisses de origem granítica, granodiorítica, tonalítica, charnoquítica, enderbítica e charno-enderbítica. Os gnaisses incluem biotita-gnaisses, kinzigitos, rochas calcissilicatadas, anfibolitos, granulitos máficos e migmatitos anatexíticos. Retrabalhados no Proterozóico Médio;

- **NPps** (Grupo Palmeiral - São Lourenço) - composto por ortoquartzitos esbranquiçados, arenitos arcóianos de estratificação cruzada, arcósio e conglomerados;

- **MPmr** (Grupo Meta-Vulcano-Sedimentar Mutum-Paraná-Roosevelt) – constituída por uma sequência dobrada, porém essencialmente não-metamórfica a epimetamórfica, composta de arenito, argilito, chert, arenito hematítico, ardósia, filito, quartzito (micáceo), formação ferrífera, metatufo, gabro e diabásio;

- **MPyrg** (Granitos Rapakivi Jovens de Rondônia) – formado por plutões de granitos sensu stricto: quartz-sienito, sienogranito, biotita-sienito, biotita-alcalifeldspato-granito e, subordinadamente, monzogranito e alcalifeldspato-granito. As primeiras variedades de rapakivi compreendem piterlito, viborgito e, em escala menor, faialita-ferrohastinsita-sienito e ferrohastinsita-biotita-quartzo-sienito;

- **MPteg** (Suíte Intrusiva Teotônio) - é constituída de quartzo-alcalifeldspato-granito e faialita-clinopiroxênio-quartzo-alcalifeldspato-sienito, cortados por meladorito simplutônico.

Os solos da bacia do rio Madeira apresentam um elevado nível de complexidade, característico da região Amazônica, entretanto suas características físicas e químicas médias são relativamente satisfatórias. No geral, boa parte do território do estado de Rondônia está coberta por solos de relevo plano, drenados e derivados de materiais relativamente ricos em minerais. Todavia, não são desconsideradas possíveis zonas com solos quimicamente muito pobres, mal drenados, relevo abrupto e arenosos, os quais devem permanecer com sua cobertura vegetal original. Com base nos estudos da 2ª Aproximação do Zoneamento Ecológico de Rondônia foi elaborado o mapa com os principais grupos de solo que ocorrem na área de influência direta e indireta do alto Rio Madeira (**Figura 12**). Destes, os mais representativos e importantes são:

Areias Quartzosas ou Neossolos Quatzarenicos: grupo de solos que não apresenta horizonte diagnóstico, sendo originários de arenitos ricos em quartzo ou em aluviões ou colúvios transportados. Em geral, os solos apresentam características restritivas tanto físicas quanto químicas: baixa capacidade de retenção de umidade e fertilidade natural muito deficiente. A capacidade de troca catiônica é baixa, apresentando frequentemente, reação bastante ácida. Essa unidade ocupa um pouco mais de 5% da superfície do estado de Rondônia.

Cambissolos Eutróficos: grupo de solos caracterizado pela presença de horizonte “câmbico”, o qual contém uma boa proporção de minerais intemperizáveis, pouco a moderadamente profundos e ocorre nas encostas das colinas. Este grupo de solo desenvolveram a partir de rochas ácidas possuindo em geral baixa fertilidade e reação ácida. Em função do seu relevo e características físicas são muito suscetíveis à erosão quando desprovidos de cobertura vegetal.

Latossolos: grupo de solos com horizonte B óxico e/ou kândico, sendo geralmente bastante intemperizados apresentando como principais minerais derivados da argila, caolinita, gipisita, minerais amorfos e sesquióxidos de ferro e alumínio. Em razão da forte lixiviação sua capacidade de troca catiônica é baixa, assim como a quantidade de cálcio, magnésio, potássio e sódio adsorvidos. Em geral, solos ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio tendem a desenvolver níveis importantes de troca aniônica, refletindo o processo químico natural de reversão da degradação desses

solos através da lixiviação. Aproximadamente 46 % dos solos do estado de Rondônia são caracterizados de latossolos.

No Brasil existem seis grupos de latossolos conforme o sistema brasileiro, sendo que na área de influência direta e indireta do alto Rio Madeira (**Figura 12**) são reconhecidos o latossolos Amarelo distrófico, Vermelho-Amarelo e Vermelho escuro distrófico.

Latossolos Amarelos: grupo de solo caracterizado pelos altos conteúdos de caolinita e hidróxidos de alumínio. A sua drenagem é, em geral, menos eficiente do que aquela que caracteriza os latossolos vermelhos, apresentando condições de oxigenação deficientes. Do ponto-de-vista da fertilidade, são pobres, bastante ácidos e geralmente distróficos e álicos. Aproximadamente 16,5% dos solos do estado de Rondônia são caracterizados de latossolos Amarelos.

Latossolos Vermelho-Amarelos: grupo de solos geralmente pobres, ácidos, álicos e distróficos, embora seja possível encontrar áreas com solos de melhores características. Aproximadamente 13,6% dos solos do estado de Rondônia são caracterizados de latossolos Vermelho-Amarelos.

Gleissolos distróficos: grupo de solos de ocorrência em regiões com excesso de água temporária e permanente, característico de drenagem precária com déficit acentuado de oxigênio. Este fato normalmente restringe o crescimento vegetal apesar de existirem espécies adaptadas tais como arroz, juta, algumas palmeiras, pastagem e forrageiras. Outro fato associado é o excesso de hidróxido de ferro, consequência do estado de quase permanente redução, dificultando o crescimento de espécies tolerantes à inundação. Em Rondônia, muitos desses solos se desenvolveram a partir de depósitos aluviais ao longo dos rios. Além da restrição decorrente do excesso de umidade, apresentam baixa fertilidade, pH baixo e altos níveis de saturação de alumínio. Aproximadamente 10% dos solos do estado de Rondônia são caracterizados de gleissolos distróficos.

Os principais grupos de solo que ocorrem na área de influência direta e indireta do alto Rio Madeira estão apresentados no **Quadro 02**.

Quadro 02 – Pontos de amostragem de solo nos principais grupos de solo que ocorrem na área de influência direta e indireta do alto Rio Madeira com sua descrição e classificação pedológica.

Pontos	Uso e ocupação	Pedologia
P1	Cobertura vegetal lenhosa – pastagem	Argissolo vermelho amarelo distrófico
P2	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Argissolo vermelho amarelo distrófico
P3	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolos vermelho escuro distrófico
P4	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolos vermelho Amarelo distrófico
P5	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Gleissolo distrófico
P6	Cobertura vegetal não lenhosa – mata ciliar	Gleissolo distrófico
P7	Cobertura vegetal não lenhosa – mata ciliar	Gleissolo distrófico

Quadro 02 – Pontos de amostragem de solo nos principais grupos de solo que ocorrem na área de influência direta e indireta do alto Rio Madeira com sua descrição e classificação pedológica.
(continuação)

Pontos	Uso e ocupação	Pedologia
P8	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Gleissolo distrófico
P9	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Neossolo quartzarenico
P10	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Neossolo quartzarenico
P11	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Latossolos amarelo distrófico
P12	Cobertura vegetal não lenhosa – pastagem	Latossolos vermelho amarelo distrófico
P13	Cobertura vegetal lenhosa – mata ciliar	Gleissolo distrófico
P14	Cobertura vegetal não lenhosa – pastagem	Gleissolo distrófico

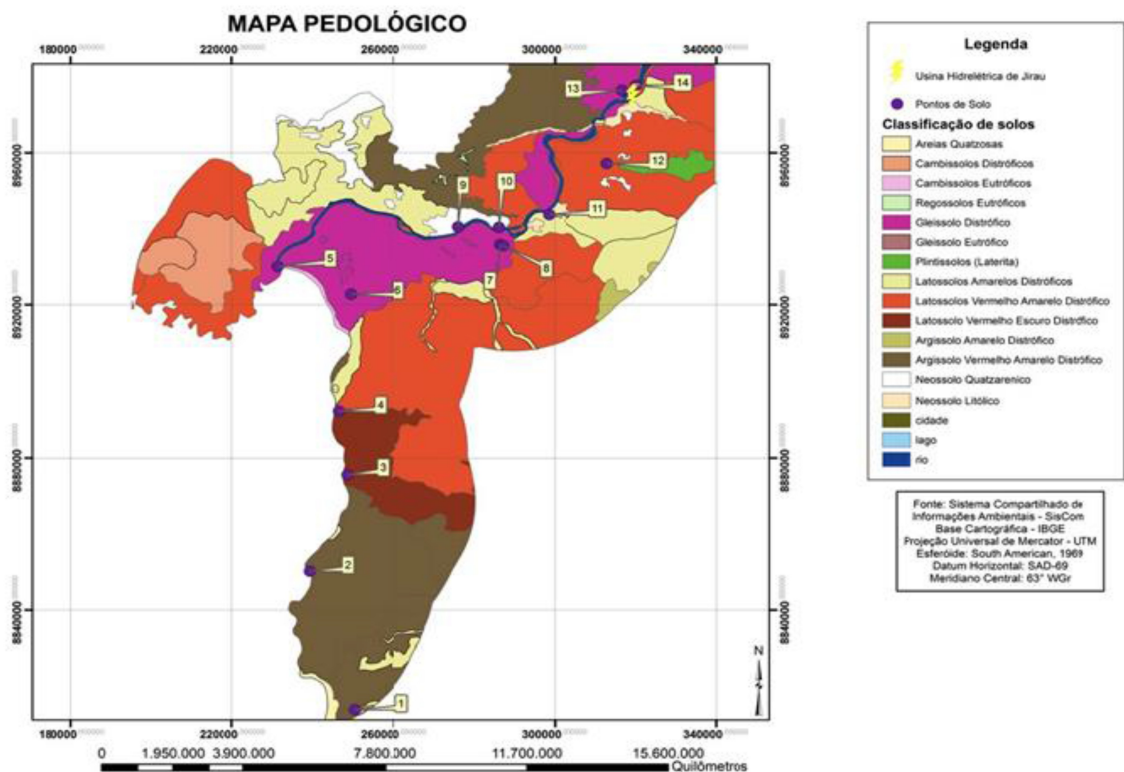


Figura 12 – Mapa pedológico da bacia do rio Madeira e seus tributários – área de influência direta e indireta do alto Rio Madeira.

Os resultados da determinação de matéria orgânica e análises granulométricas dos solos coletados na área de influência direta e indireta do alto Rio Madeira estão apresentados na **Tabela 03**.

Tabela 03. Concentrações de matéria orgânica (% m/m) e das análises granulométricas (% m/m) em amostras de solo coletadas na área de influência direta e indireta do rio Madeira e seus tributários, período de enchente (18 a 25/01/2014).

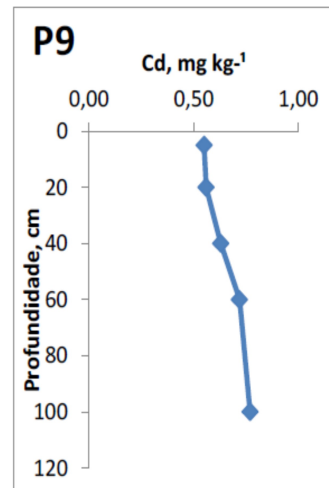
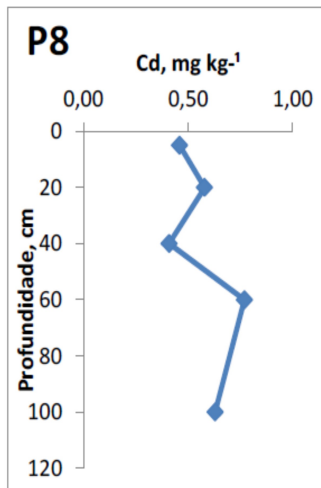
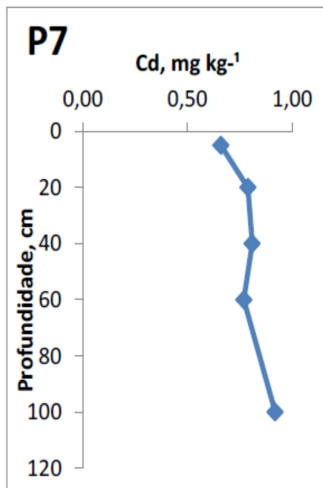
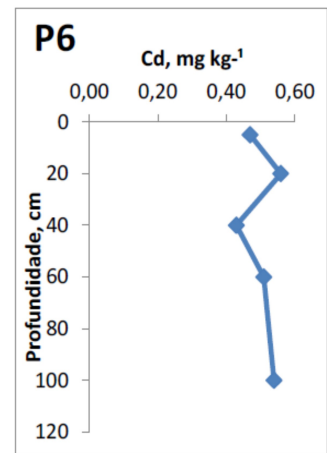
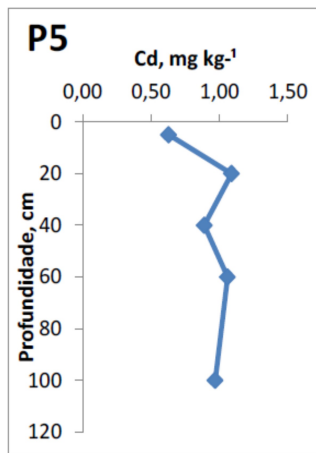
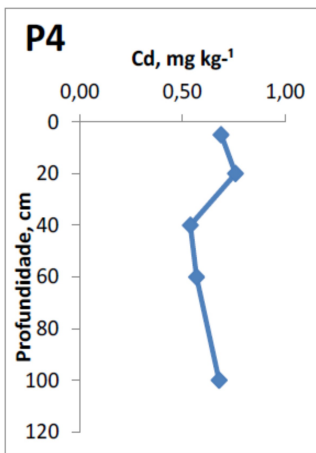
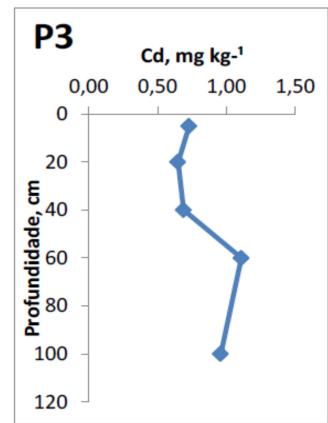
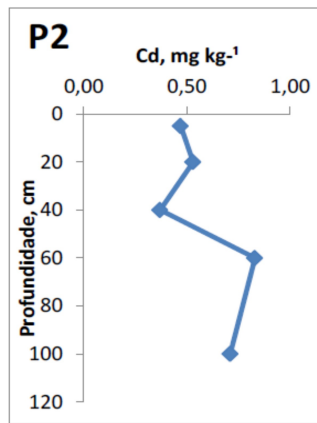
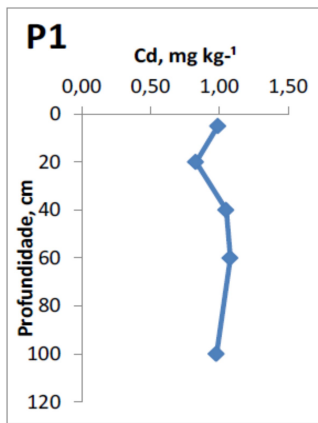
Ponto	Matéria orgânica	Areia	Silte	Argila
P1	6,32	58,43	30,17	4,82
P2	6,68	63,58	31,83	5,82
P3	11,45	59,62	31,28	3,02
P4	18,81	56,72	19,73	7,05
P5	5,18	60,66	31,87	6,62
P6	5,19	68,71	20,28	4,81
P7	9,72	61,23	31,73	3,41
P8	7,71	69,72	19,85	5,31
P9	8,85	58,72	27,53	7,01
P10	5,05	51,73	31,72	7,86
P11	10,02	63,61	18,83	8,26

P12	10,17	55,61	21,28	9,97
P13	13,27	64,06	20,71	5,73
P14	6,15	59,92	27,04	7,08

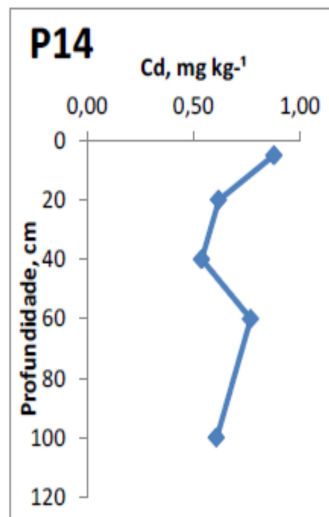
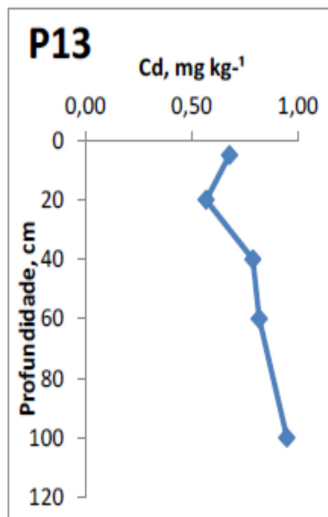
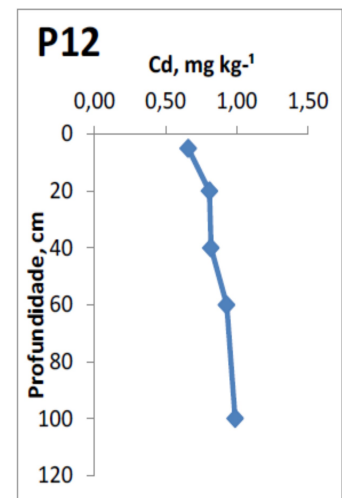
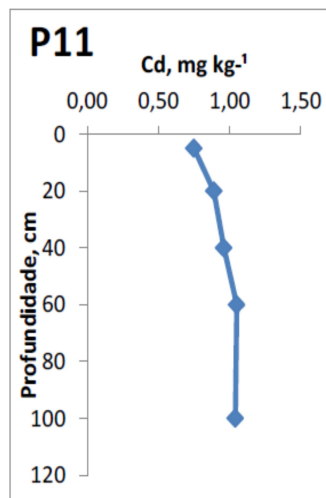
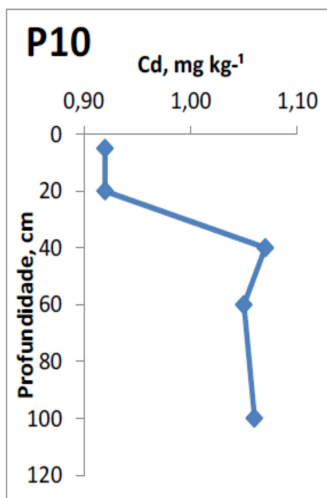
A distribuição dos elementos traço no solo e sedimento está relacionada com o conteúdo de carbono orgânico, argila, ferro, fósforo, potencial redox e enxofre, dentre outros. Os agentes orgânicos complexantes solúveis em água, tais como humatos e fulvatos, podem quelar as espécies solúveis e insolúveis na água; os últimos precipitam-se diretamente da solução para o sedimento.

As análises granulométricas dos solos coletados nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira na 18ª campanha de campo (período de enchente de 2014) apresentaram valores médios $60,88 \pm 4,86$ % (m/m) de areia, $25,99 \pm 5,51$ % (m/m) de silte e $6,20 \pm 1,89$ % (m/m) de argila, enquanto os valores médios de matéria orgânica foram $8,90 \pm 3,83$ % (m/m), sendo característico de solo da região Amazônica.

Os solos possuem elevada capacidade de reter e armazenar elementos traço, devido a complexação destes com a matéria orgânica presente e os argilosos geralmente apresentam maior capacidade de complexação com elementos traço, podendo acumulá-los por muitos anos (Rocha *et. al.*, 2000 e 2003). Os níveis de elementos traço nos perfis de solo coletados nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira devem ser analisados com cuidado, pois a integridade do perfil nem sempre é garantida, ou seja, o fato de se obter fatias do solo a partir da interface com a atmosfera, parte do pressuposto que não houve perturbação na forma de depósito nestes segmentos de solo. As **Figuras de 13 a 42** mostram a distribuição das concentrações dos elementos traço em função da profundidade de coleta, evidenciando sítios de ocorrência natural dos elementos metálicos.



Figuras 13,14, 15 - Curvas de distribuição das concentrações de cádmio em perfil do solo (0 – 100 cm) em amostras coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2014.



Figuras 16 e 17 - Curvas de distribuição das concentrações de cádmio em perfil do solo (0 – 100 cm) em amostras coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2014.

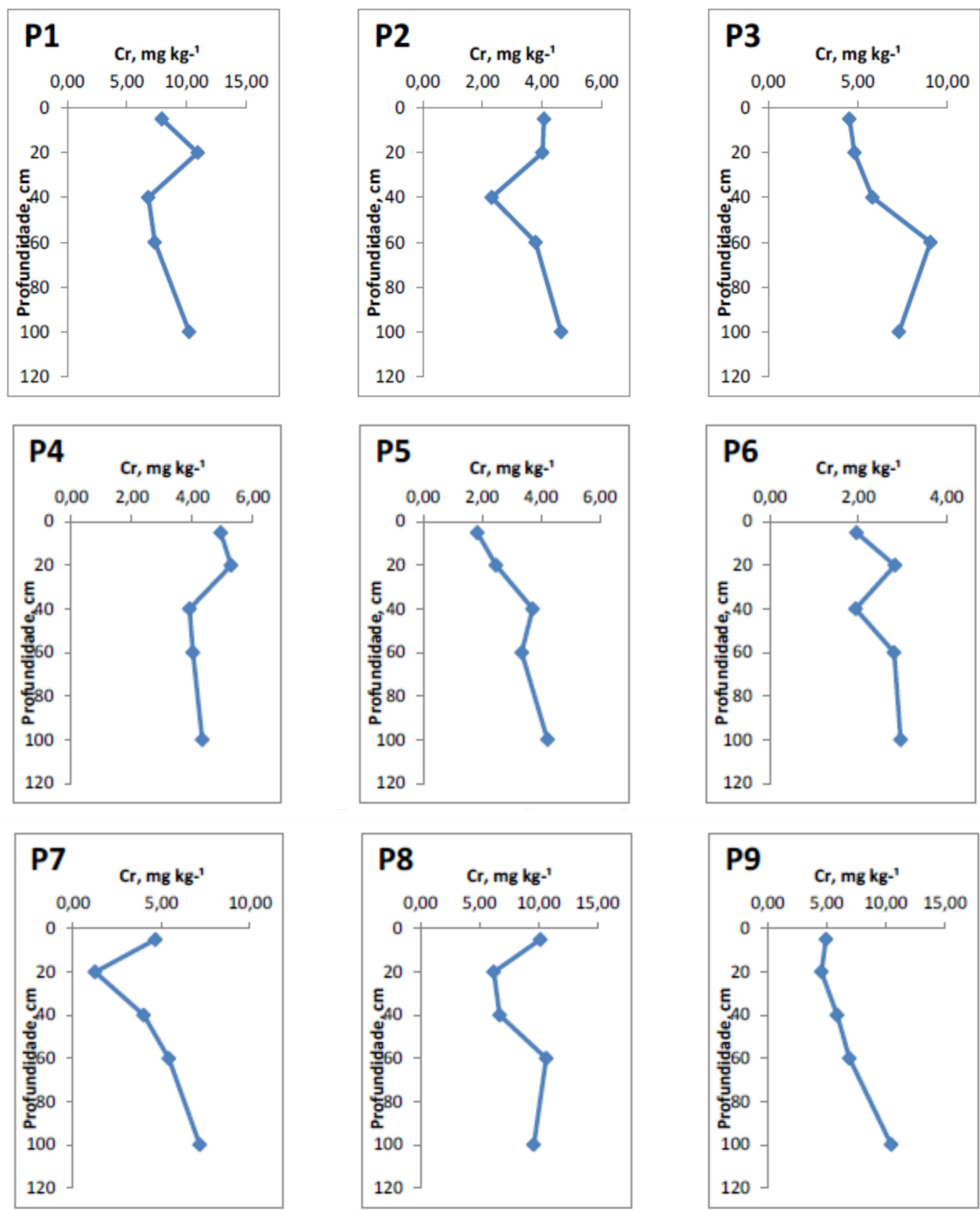


Figura 18, 19 e 20 - Curvas de distribuição das concentrações de crômio em perfil do solo (0 – 100 cm) em amostras coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2014

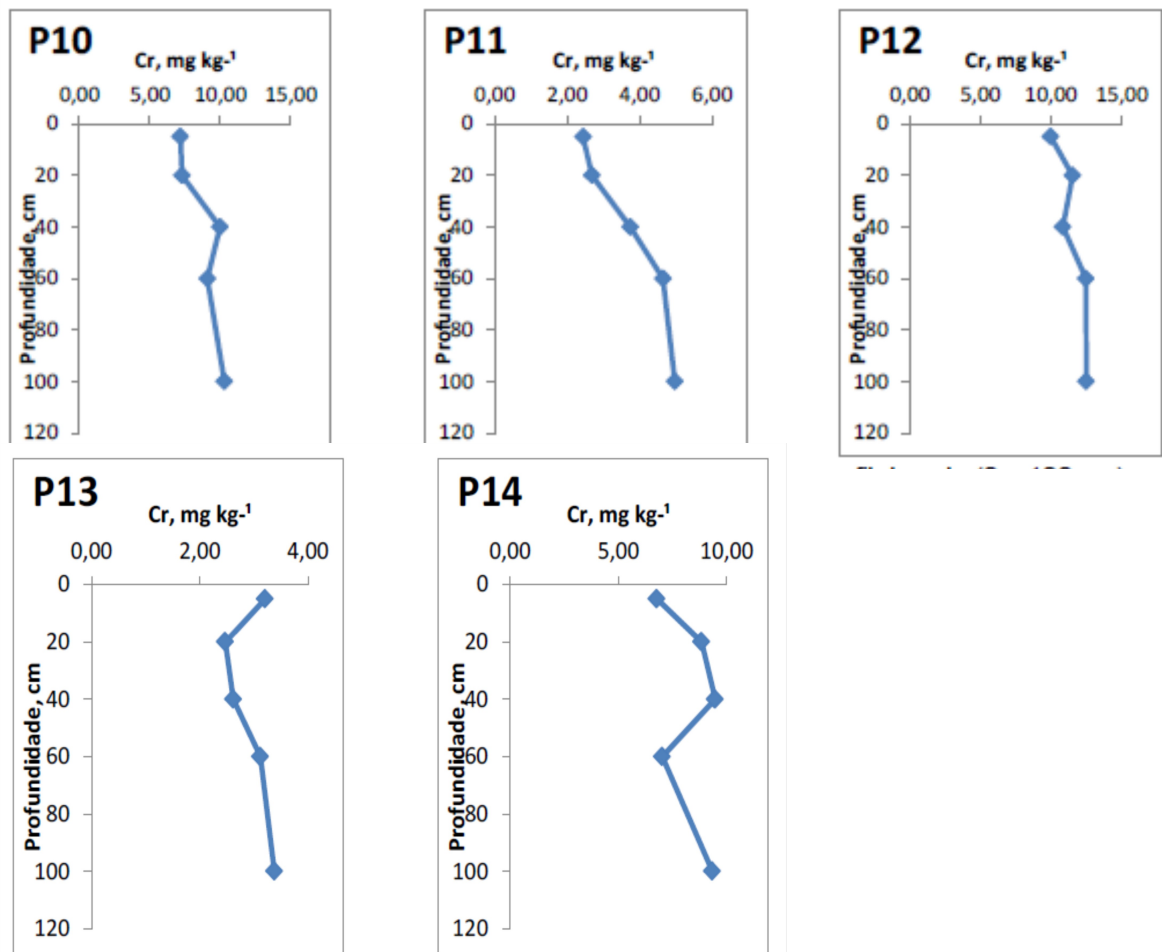


Figura 21 e 22- Curvas de distribuição das concentrações de cromo em perfil do solo (0 – 100 cm) em amostras coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2014.

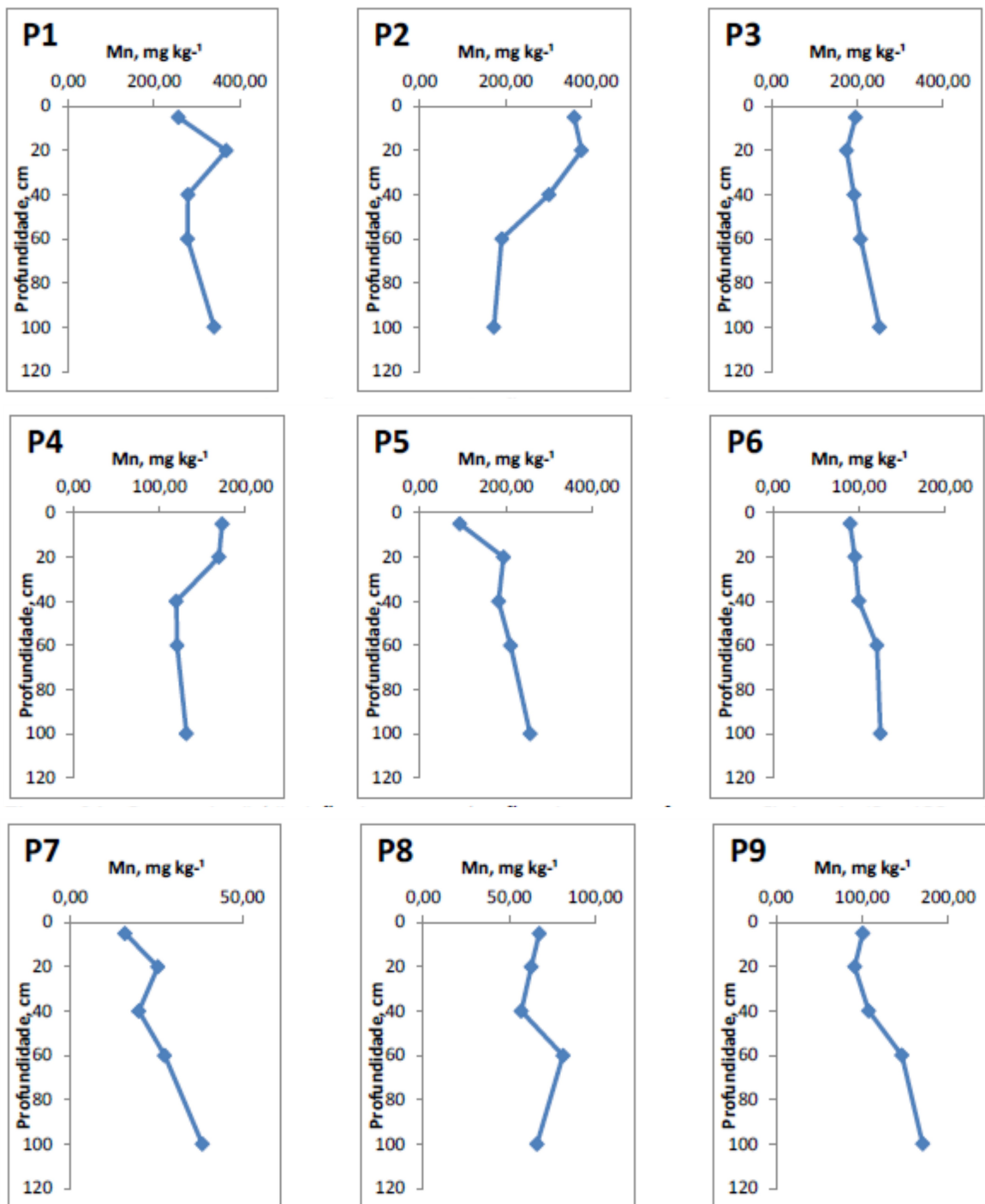


Figura 23,24 e 25 - Curvas de distribuição das concentrações de manganês em perfil do solo (0 – 100 cm) em amostras coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2014.

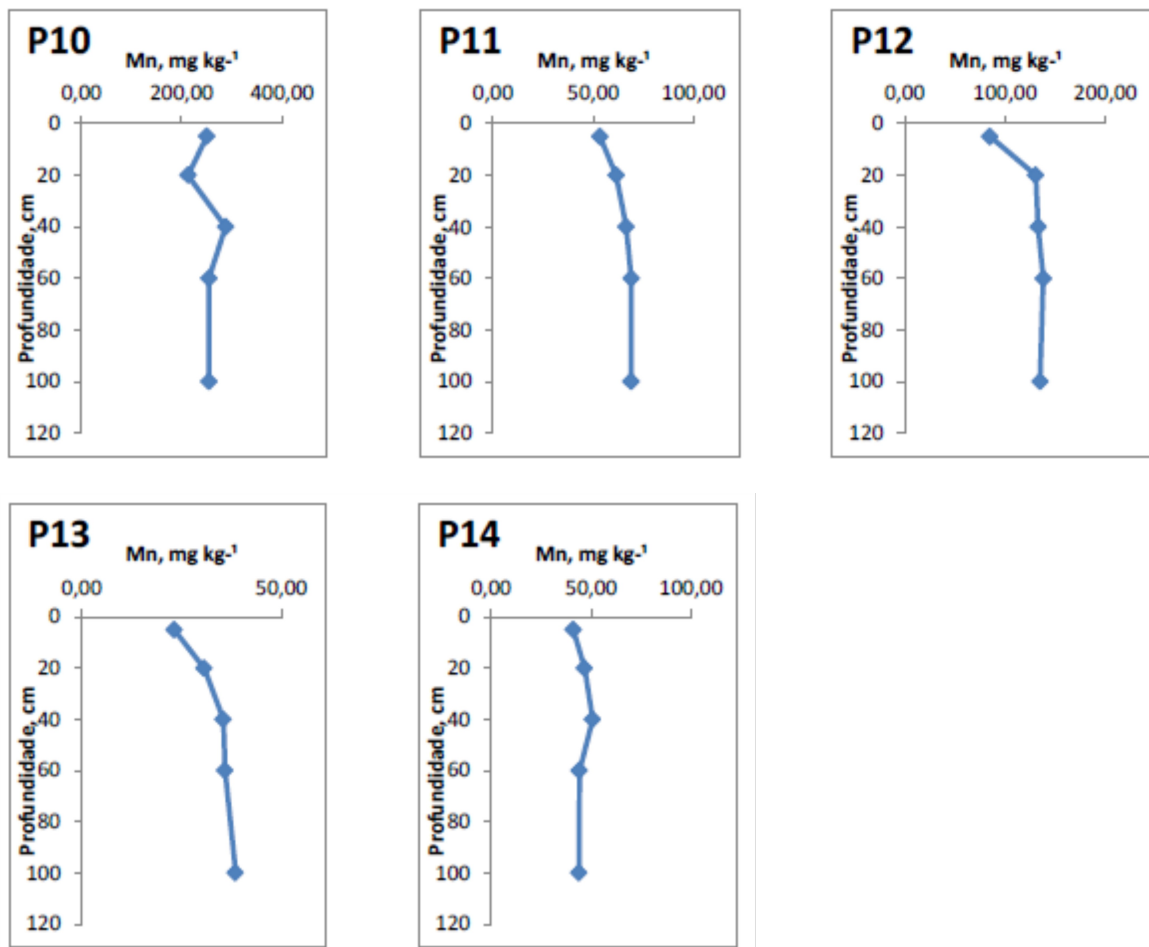


Figura 26 e 27 - Curvas de distribuição das concentrações de manganês em perfil do solo (0 – 100 cm) em amostras coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2014.

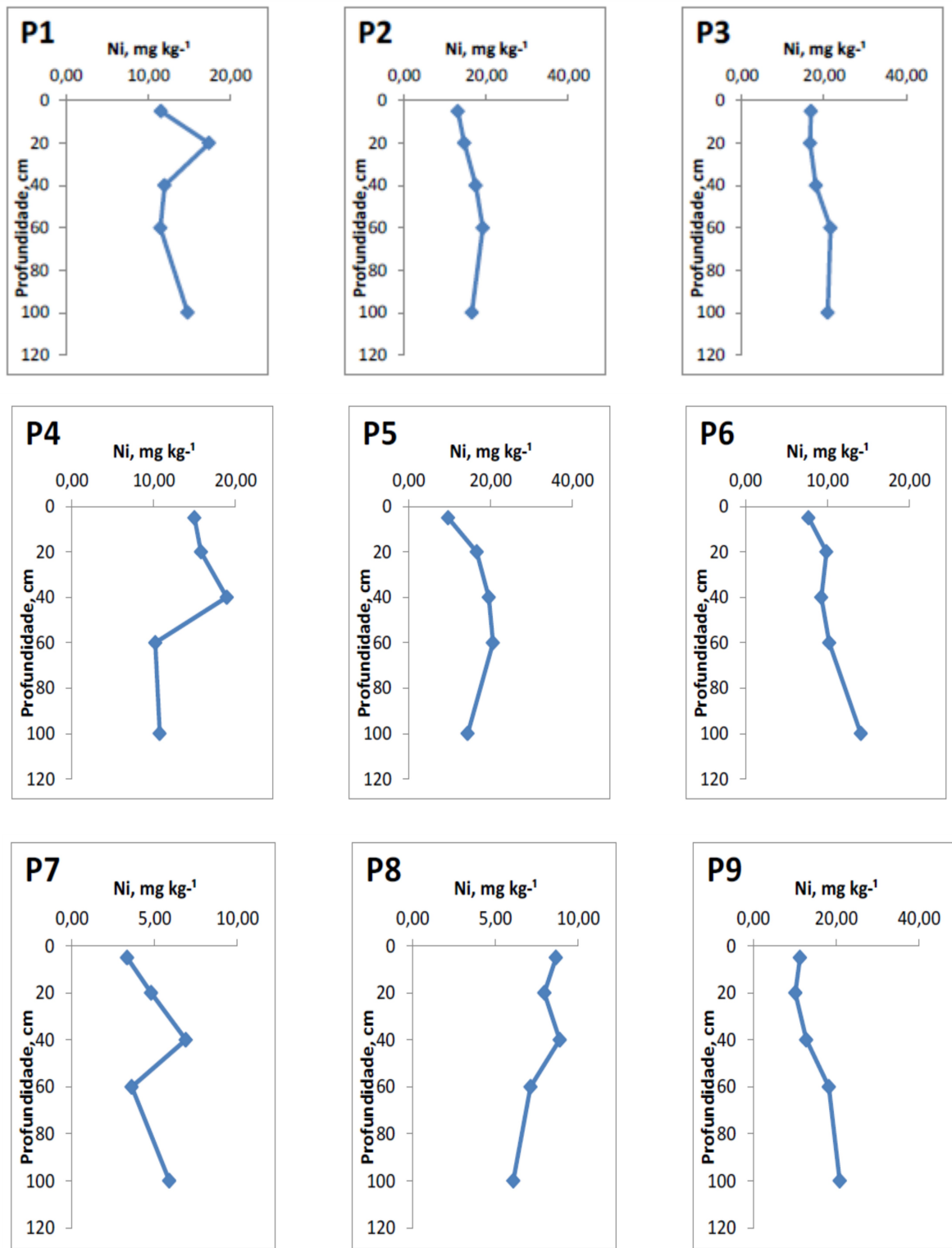
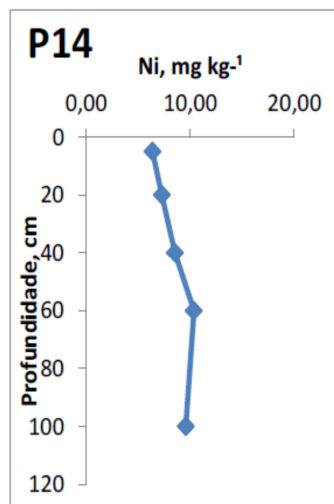
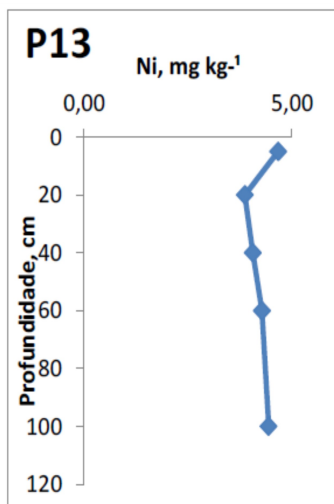
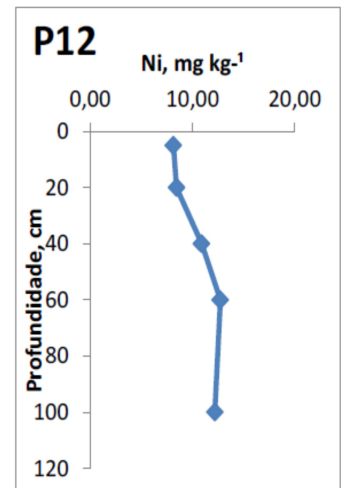
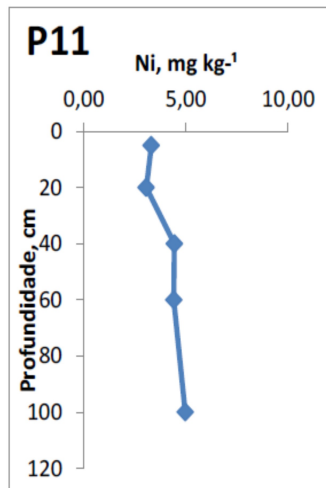
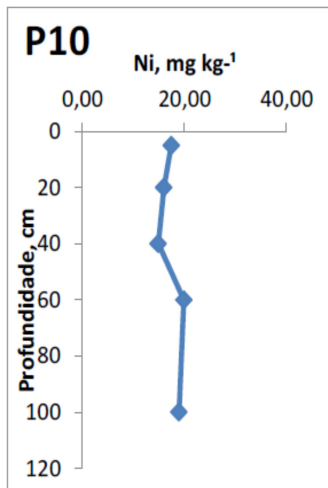
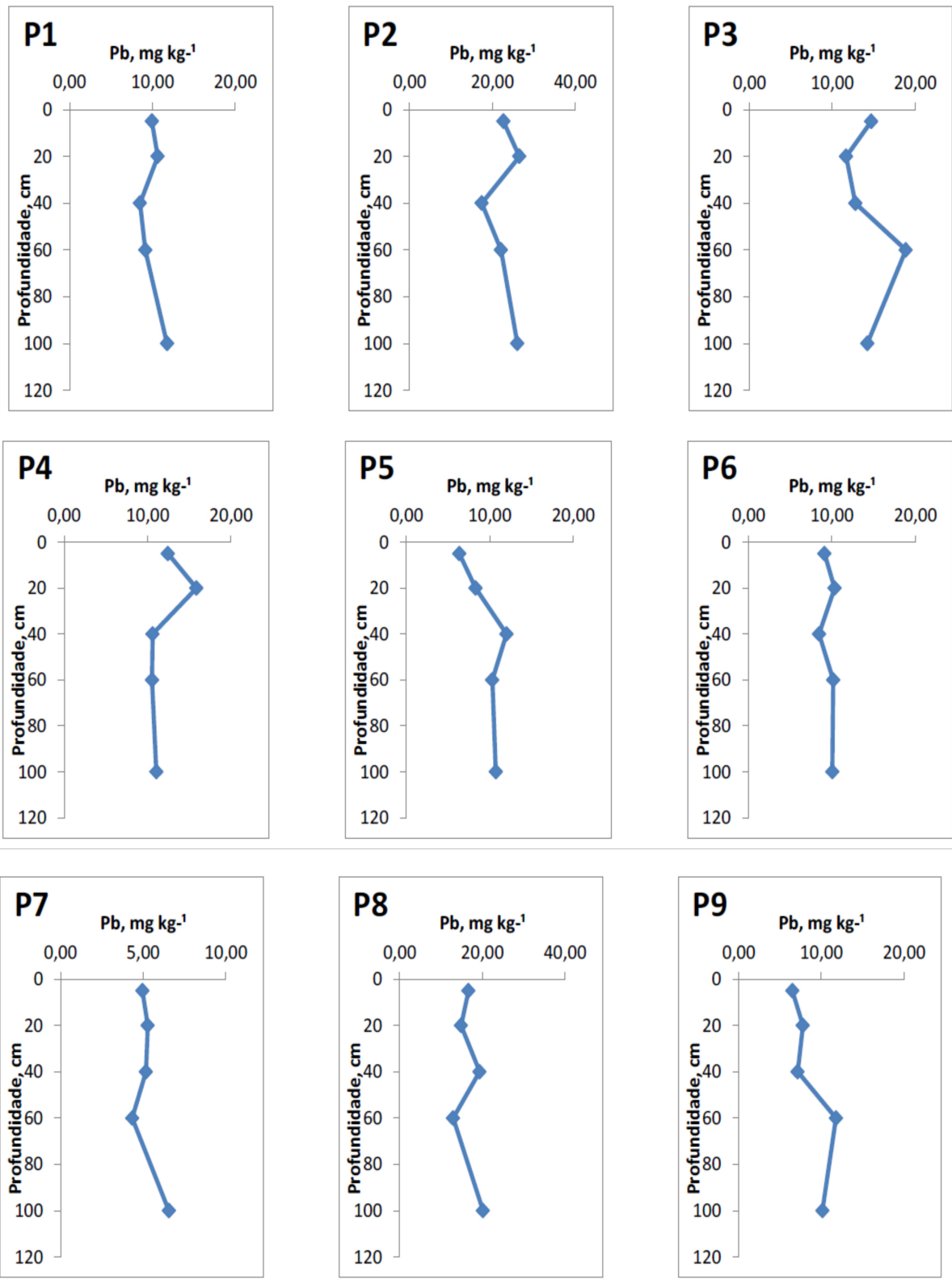


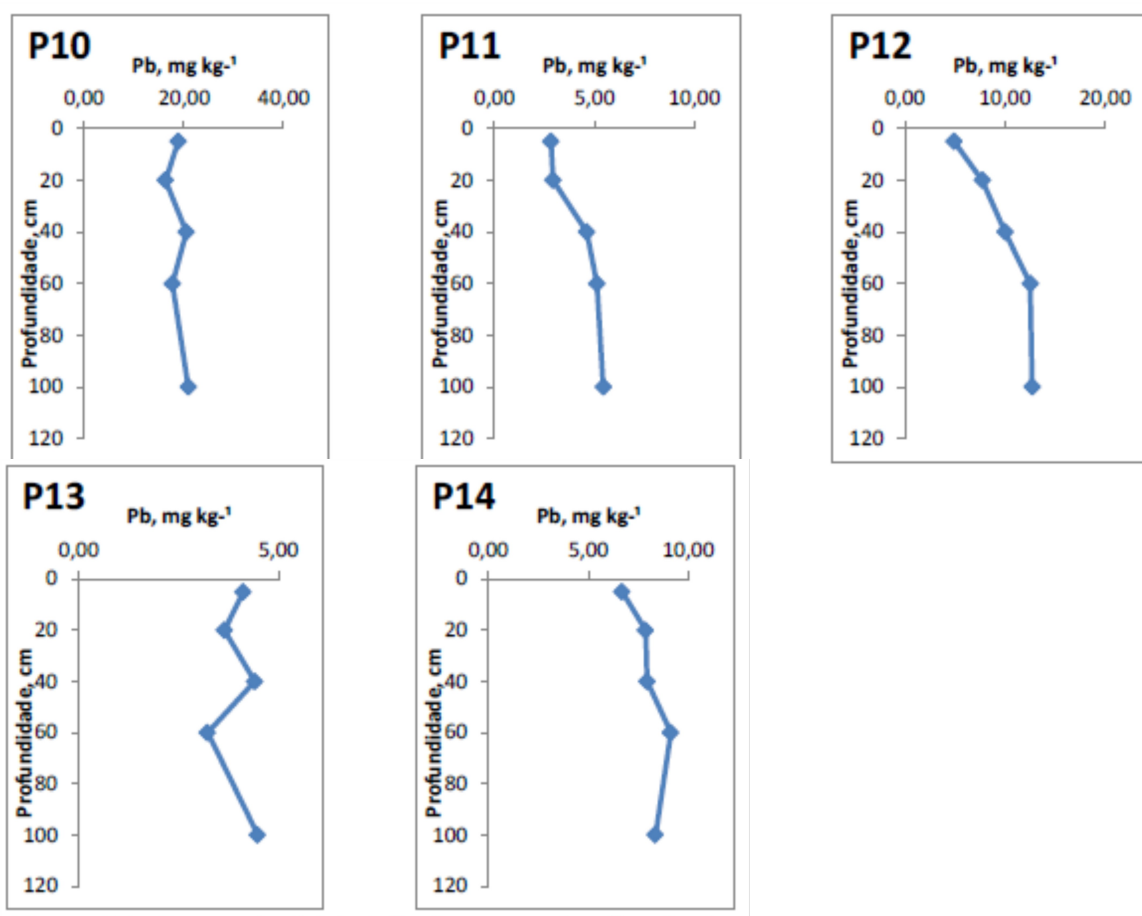
Figura 28, 29 e 30 - Curvas de distribuição das concentrações de níquel em perfil do solo (0 – 100 cm) em amostras coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2014.



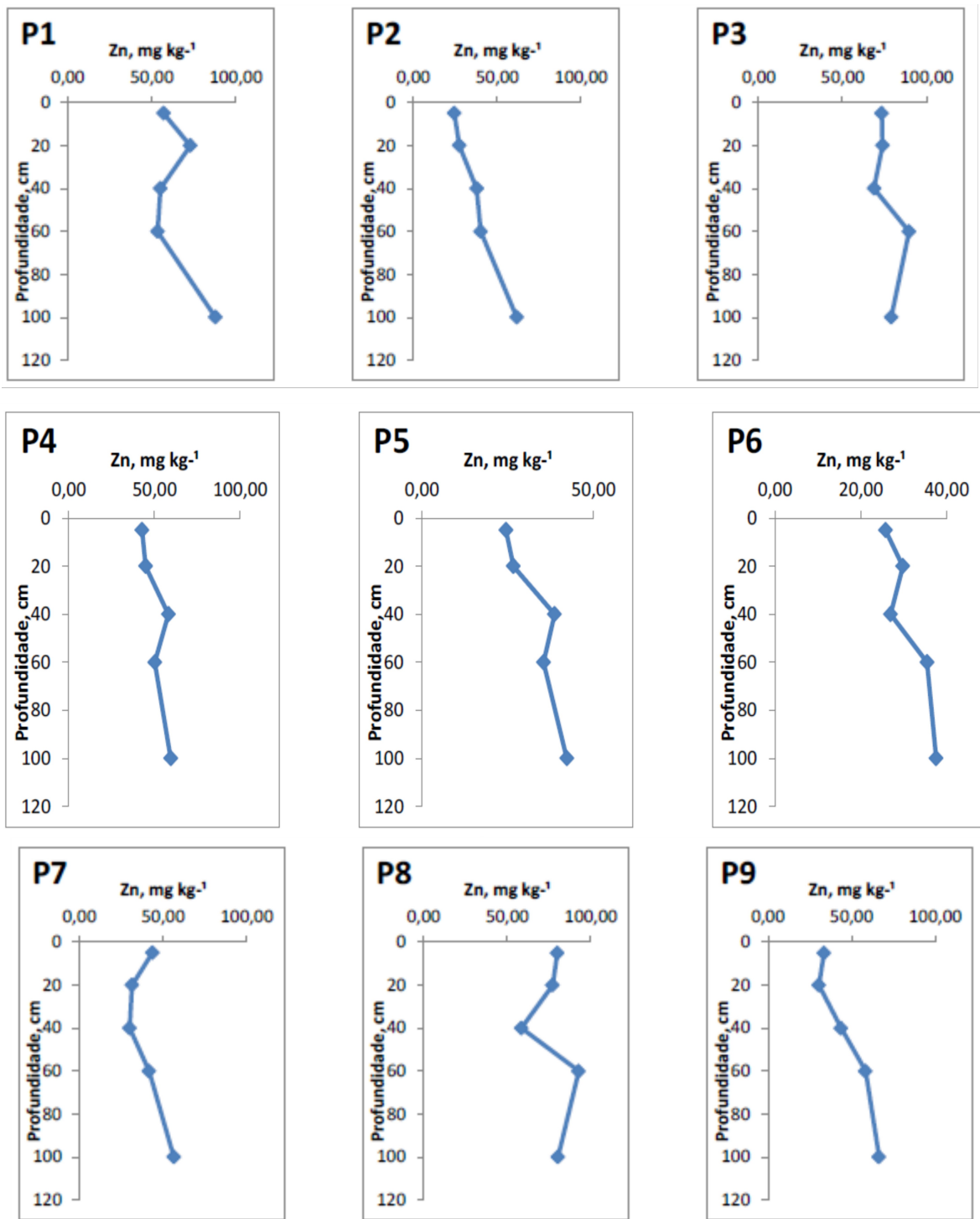
Figuras 31 e 32 - Curvas de distribuição das concentrações de níquel em perfil do solo (0 – 100 cm) em amostras coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2014.



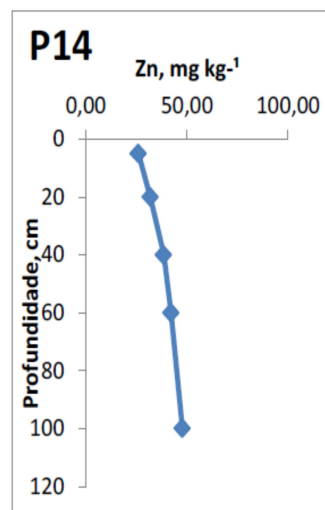
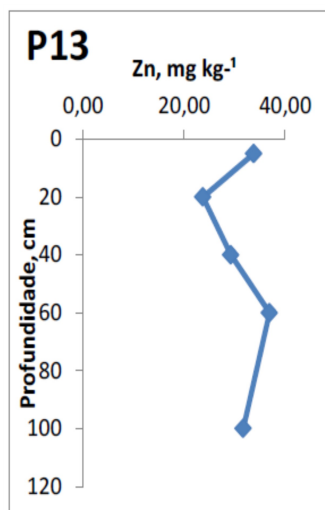
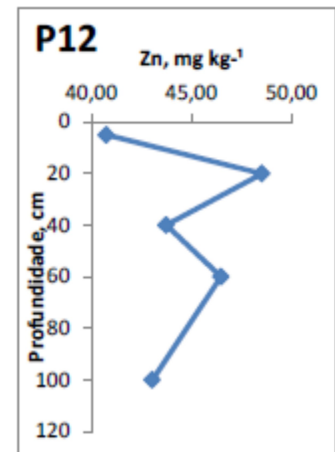
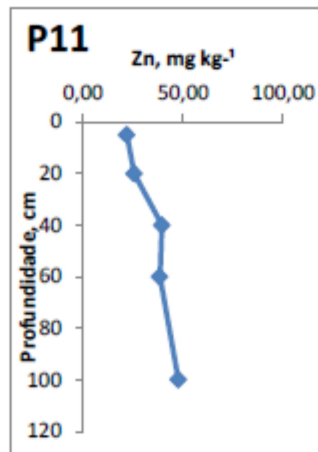
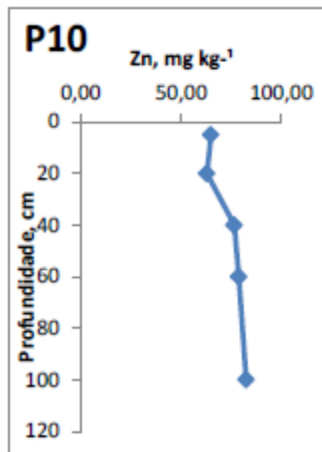
Figuras 33, 34 e 35 - Curvas de distribuição das concentrações de chumbo em perfil do solo (0 – 100 cm) em amostras coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2014.



Figuras 36 e 37 - Curvas de distribuição das concentrações de chumbo em perfil do solo (0 – 100 cm) em amostras coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2014.



Figuras 38, 39 e 40 - Curvas de distribuição das concentrações de zinco em perfil do solo (0 – 100 cm) em amostras coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2014.



Figuras 41 e 42 - Curvas de distribuição das concentrações de zinco em perfil do solo (0 – 100 cm) em amostras coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2014.

5-3 Concentrações de elementos traço em sedimento

As concentrações dos elementos traços determinados em amostras de sedimento coletadas na bacia do alto rio Madeira durante os trabalhos de campo encontram-se dispostos na **Tabela 04**.

Tabela 04. Concentrações (mg kg^{-1}) de As, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Se e Zn nas amostras de sedimento coletadas na área de influência direta e indireta do rio Madeira e seus tributários, período de enchente (18 a 25/01/2014).

Ponto	Tipo	As	Cd	Cr	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
P1-MAM	Calha	<0,01	<0,01	26,09	166,15	18,38	8,84	<0,01	118,37
P1.2-BENI	Calha	<0,01	<0,01	15,44	136,20	26,52	6,68	<0,01	140,32
P2-MAD 1A-MD	Calha	<0,01	<0,01	8,78	198,50	21,78	7,21	<0,01	151,74
P2-MAD 1B-Centro	Calha	<0,01	<0,01	4,92	256,77	18,88	4,01	<0,01	181,62
P2-MAD 1C-ME	Calha	<0,01	<0,01	7,82	165,02	27,03	8,91	<0,01	133,78
P3-RIB	Tributário	<0,01	<0,01	4,53	194,86	28,74	3,63	<0,01	89,75
P4-ARA	Tributário	<0,01	<0,01	6,71	179,33	30,25	3,23	<0,01	90,67
P5-ABU	Tributário	<0,01	<0,01	10,19	133,83	12,56	6,66	<0,01	152,43
P6-MAD 2A-MD	Calha	<0,01	<0,01	16,08	37,79	21,38	5,49	<0,01	137,84
P6-MAD 2B-Centro	Calha	<0,01	<0,01	12,75	176,29	30,05	4,99	<0,01	167,71
P6-MAD 2C-ME	Calha	<0,01	<0,01	23,15	196,06	24,47	6,85	<0,01	137,43
P7-SIZ	Tributário	<0,01	<0,01	15,25	86,12	7,89	4,01	<0,01	43,22
P8-SIM	Tributário	<0,01	<0,01	19,63	64,79	8,67	4,42	<0,01	70,16
P9-MAD 3A-MD	Calha	<0,01	<0,01	26,31	151,45	31,63	6,84	<0,01	165,08
P9-MAD 3B-Centro	Calha	<0,01	<0,01	21,45	195,53	32,27	7,83	<0,01	147,73
P9-MAD 3C-ME	Calha	<0,01	<0,01	33,97	142,11	28,28	4,67	<0,01	150,57
P10-CAS	Tributário	<0,01	<0,01	10,26	216,95	30,16	6,36	<0,01	132,64
P11-MTP 1	Tributário	<0,01	<0,01	14,62	156,88	27,23	6,16	<0,01	99,01
P12-COT	Tributário	<0,01	<0,01	9,79	122,11	4,46	5,77	<0,01	71,33
P13-MUT 1	Lago	<0,01	<0,01	31,57	229,12	16,93	8,57	<0,01	138,95
P20-MTP 2	Lago	<0,01	<0,01	30,67	205,35	30,44	8,97	<0,01	137,39
P14-MAD 4A-MD	Calha	<0,01	<0,01	11,68	153,36	33,03	5,59	<0,01	132,86
P14-MAD 4B-Centro	Calha	<0,01	<0,01	27,16	126,81	31,61	3,85	<0,01	155,55
P14-MAD 4C-ME	Calha	<0,01	<0,01	33,27	154,89	31,62	9,13	<0,01	164,44
P15-LOU	Tributário	<0,01	<0,01	13,13	158,66	24,07	6,86	<0,01	96,14
P16-CAI	Tributário	<0,01	<0,01	9,03	90,92	30,16	4,05	<0,01	64,22
P17-JIR	Tributário	<0,01	<0,01	14,13	116,41	22,19	6,03	<0,01	84,69

Tabela 04. Concentrações (mg kg⁻¹) de As, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Se e Zn nas amostras de sedimento coletadas na área de influência direta e indireta do rio Madeira e seus tributários, período de enchente (18 a 25/01/2014)_Continuação.

Ponto	Tipo	As	Cd	Cr	Mn	Ni	Pb	Se	Zn
P18-MAD 5A-MD	Calha	<0,01	<0,01	38,86	152,21	28,68	8,63	<0,01	140,43
P18-MAD 5B-Centro	Calha	<0,01	<0,01	23,51	192,14	32,36	7,03	<0,01	162,23
P18-MAD 5C-ME	Calha	<0,01	<0,01	41,37	111,32	26,96	9,44	<0,01	142,11
P19-MAD 6A-MD	Calha	<0,01	<0,01	21,59	172,92	28,83	8,15	<0,01	152,96
P19-MAD 6B-Centro	Calha	<0,01	<0,01	32,45	202,25	27,38	7,67	<0,01	170,28
P19-MAD 6C-ME	Calha	<0,01	<0,01	30,32	166,56	28,86	8,58	<0,01	144,13

Estudos em transecto: A - margem direita do rio, B-centro do rio e C-margem esquerda do rio.

As concentrações de arsênio (As) cádmio (Cd) e selênio (Se) nas amostras de sedimento na calha do rio Madeira e nos tributários foram menores que 0,01 mg kg⁻¹.

As concentrações de crômio (Cr) nas amostras de sedimento coletadas na calha do rio Madeira, no período hidrológico de enchente de 2014, apresentaram mediana 23,33 e valor médio $22,85 \pm 10,51$ mg kg⁻¹, enquanto nos tributários apresentaram mediana 10,23 e valor médio $10,76 \pm 3,52$ mg kg⁻¹, com exceção do Igarapé São Simão (P8-SIM), da Área alagada do Mutum (P13-MUT 1) e da Foz do Mutum (P20-MTP 2) com mediana 30,67 e valor médio $27,29 \pm 6,65$ mg kg⁻¹. O estudo em transecto indica uma tendência heterogênea das concentrações de crômio ao longo do rio Madeira (**Figura 43**), sendo o rio Mamoré (P1-MAM) 26,09 e o rio Beni (P1.2-BENI) 15,44 mg kg⁻¹, seguido dos valores P2-MAD 1 $7,17 \pm 2,01$, P6-MAD 2 $17,33 \pm 5,31$, P9-MAD 3 $27,24 \pm 6,31$, P14-MAD 4 $24,04 \pm 11,13$, P18-MAD 5 $34,58 \pm 9,67$ e P19-MAD 6 de $28,12 \pm 5,75$ mg kg⁻¹.

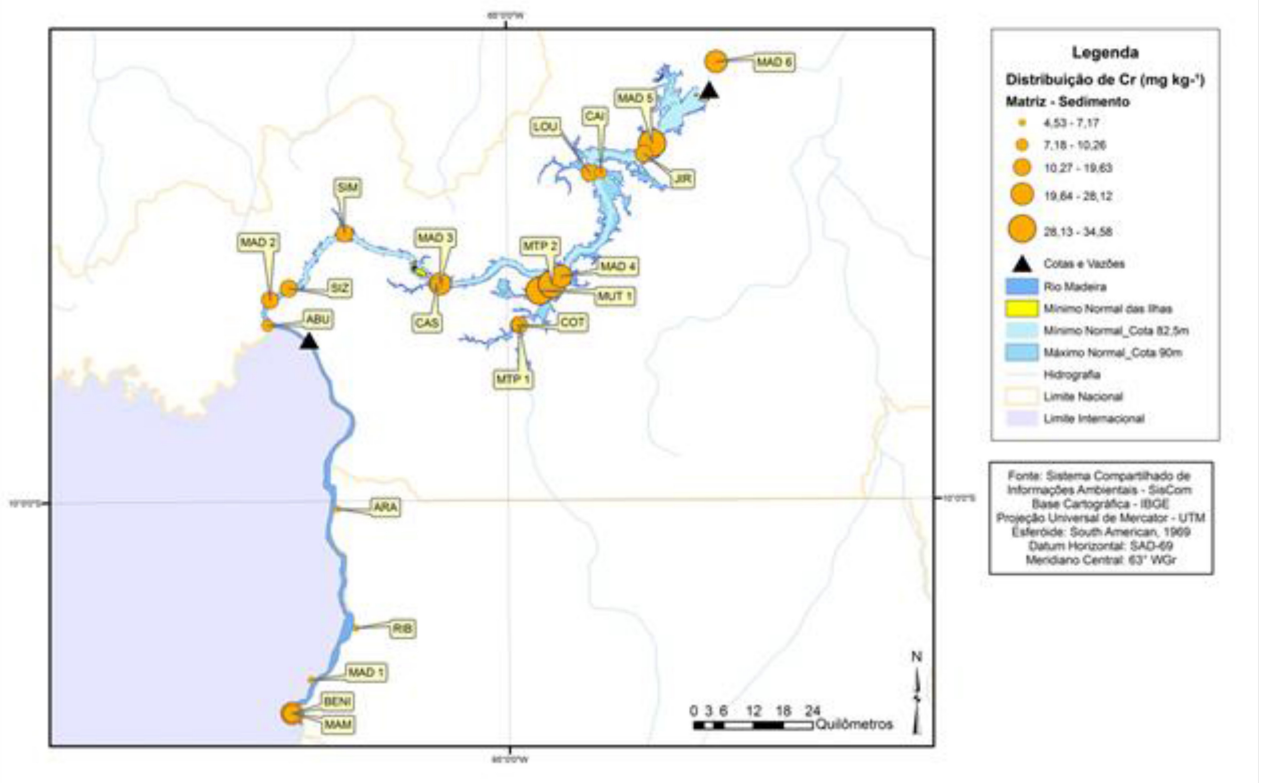


Figura 43 – Distribuição das concentrações de crômio nas amostras de sedimento coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente (18 a 25/01/2014).

A série temporal das concentrações de Cr nas amostras de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a 2014 (**Figura 44**) evidencia aumento das concentrações ao longo do tempo e a prevalência das maiores concentrações na calha do rio Madeira quando comparado aos tributários.

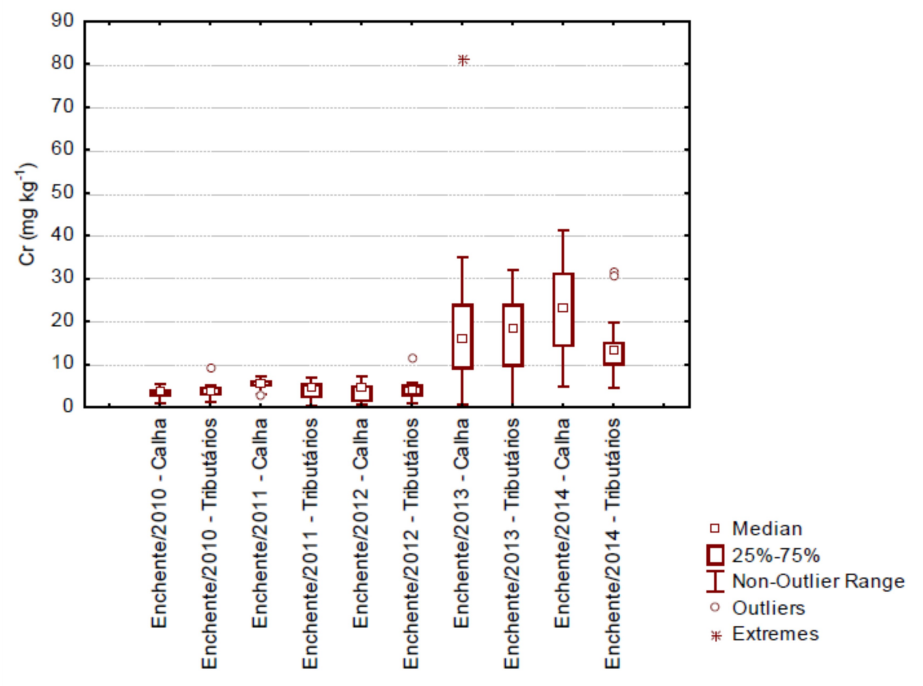


Figura 44 – Boxplot das concentrações de crômio nas amostras de sedimento coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto Rio Madeira, período de enchente de 2010 a 2014.

As concentrações de manganês (Mn) nas amostras de sedimento coletadas na calha do rio Madeira, no período hidrológico de enchente de 2014, apresentaram mediana 165,59 e valor médio $162,72 \pm 43,60 \text{ mg kg}^{-1}$, enquanto nos tributários apresentou mediana 169,00 e valor médio $171,35 \pm 40,01 \text{ mg kg}^{-1}$, com exceção dos Igarapés Simãozinho (P7-SIZ), São Simão (P8-SIM) e Caiçara (P16-CAI), os quais apresentaram mediana 86,12 e valor médio $80,61 \pm 13,91 \text{ mg kg}^{-1}$. O estudo em transecto indica uma tendência heterogênea das concentrações de Mn ao longo do rio Madeira (**Figura 45**), sendo no rio Mamoré (P1-MAM) $166,15 \text{ mg kg}^{-1}$ e rio Beni (P1.2-BENI) $136,20 \text{ mg kg}^{-1}$, seguindo os valores P2-MAD 1 $206,76 \pm 46,43$, P6-MAD 2 $136,71 \pm 86,24$, P9-MAD 3 $163,03 \pm 28,53$, P14-MAD 4 $145,02 \pm 15,79$, P18-MAD 5 $151,89 \pm 40,41$ e P19-MAD 6 $180,58 \pm 19,04 \text{ mg kg}^{-1}$.

A série temporal das concentrações de Mn nas amostras de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a 2014 (**Figura 46**) evidencia variação das concentrações ao longo do tempo e a prevalência das maiores concentrações na calha do rio Madeira quando comparado aos tributários.

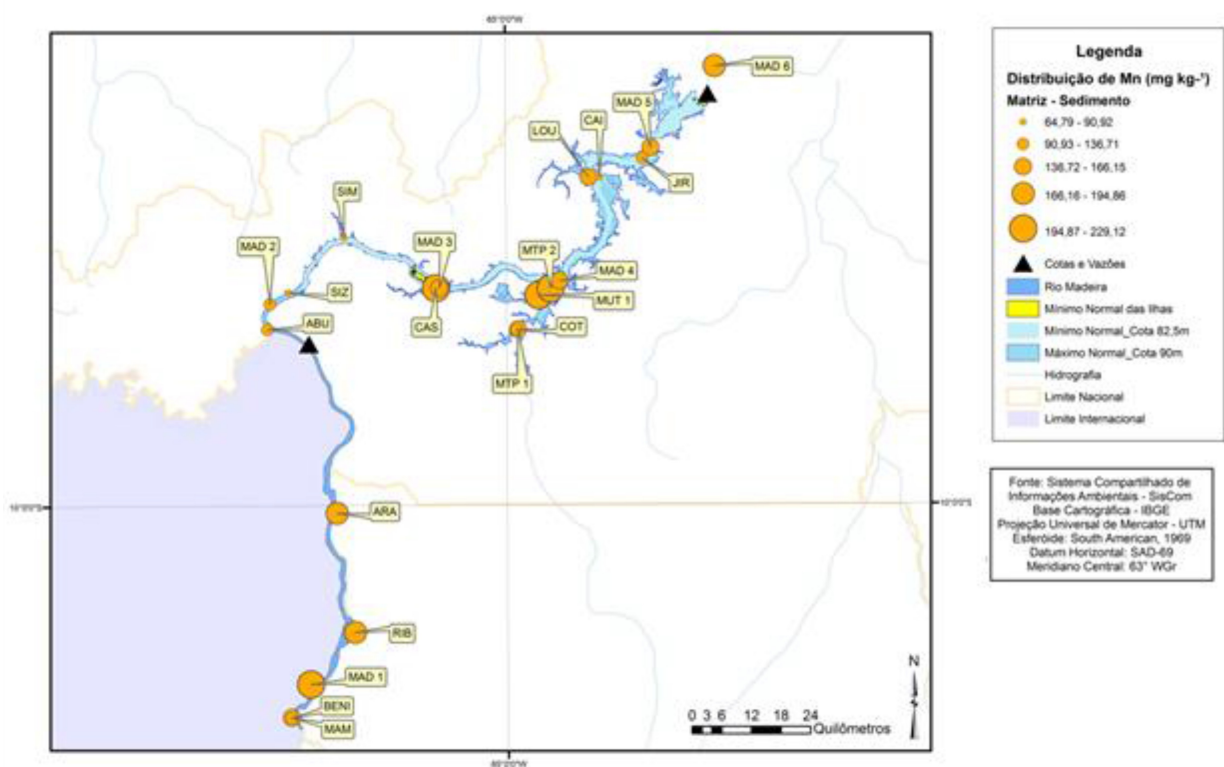


Figura 45 – Distribuição das concentrações de manganês nas amostras de sedimento coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do rio Madeira, período de enchente (18 a 25/01/2014).

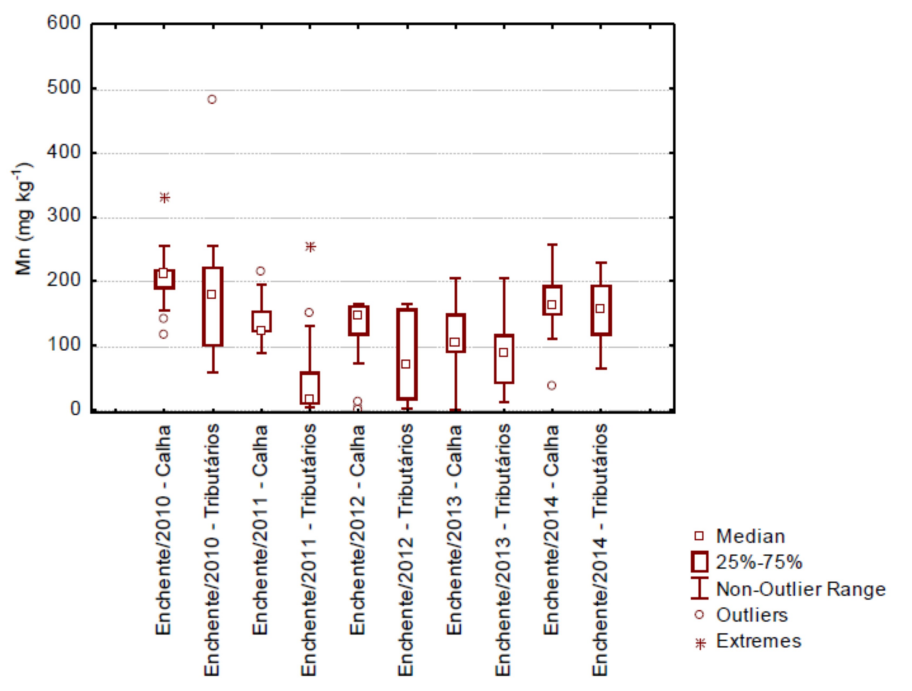


Figura 46 – Boxplot das concentrações de manganês nas amostras de sedimento coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente de 2010 a 2014.

As concentrações de níquel (Ni) nas amostras de sedimento coletadas na calha do rio Madeira, no período hidrológico de enchente de 2014, apresentaram mediana 28,48 e valor médio $27,50 \pm 4,46 \text{ mg kg}^{-1}$. Nos tributários a mediana foi 28,74 e o valor médio $26,69 \pm 4,71 \text{ mg kg}^{-1}$, com exceção do rio Abunã (P5-ABU), dos Igarapés Simãozinho (P7-SIZ) e São Simão (P8-SIM) e do rio Cotia (P12-COT), os quais apresentaram mediana 8,28 e valor médio $8,40 \pm 3,32 \text{ mg kg}^{-1}$. O estudo em transecto indica uma tendência heterogênea das concentrações de Ni ao longo do rio Madeira (**Figura 47**), sendo no rio Mamoré (P1-MAM) $18,38 \text{ mg kg}^{-1}$ e rio Beni (P1.2-BENI) $26,52 \text{ mg kg}^{-1}$, seguindo dos valores P2-MAD 1 $22,56 \pm 4,13$, P6-MAD 2 $25,30 \pm 4,39$, P9-MAD 3 $30,73 \pm 2,14$, P14-MAD 4 $32,09 \pm 0,82$, P18-MAD 5 $29,33 \pm 2,76$ e P19-MAD 6 $28,36 \pm 0,85 \text{ mg kg}^{-1}$.

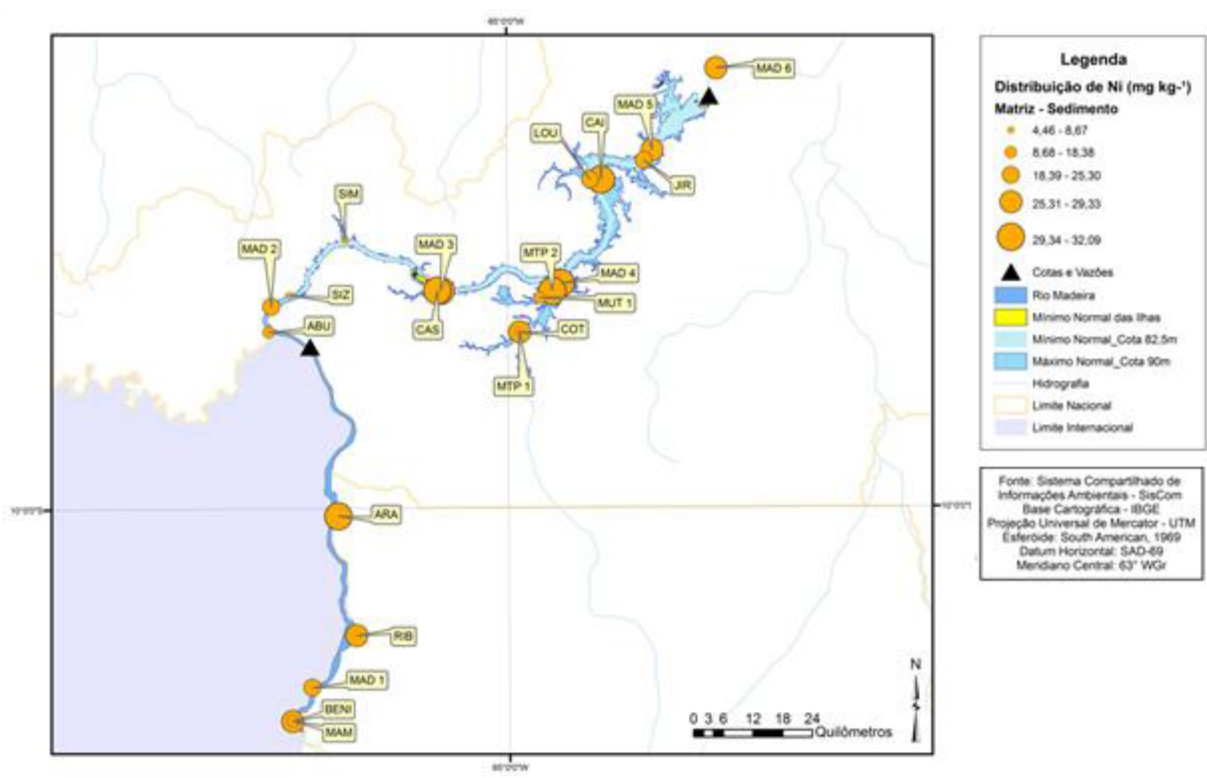


Figura 47 – Distribuição das concentrações de níquel nas amostras de sedimento coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente (18 a 25/01/2014).

A série temporal das concentrações de Ni nas amostras de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a 2014 (**Figura 48**) evidencia aumento

das concentrações ao longo do tempo e a prevalência das maiores concentrações na calha do rio Madeira quando comparado aos tributários.

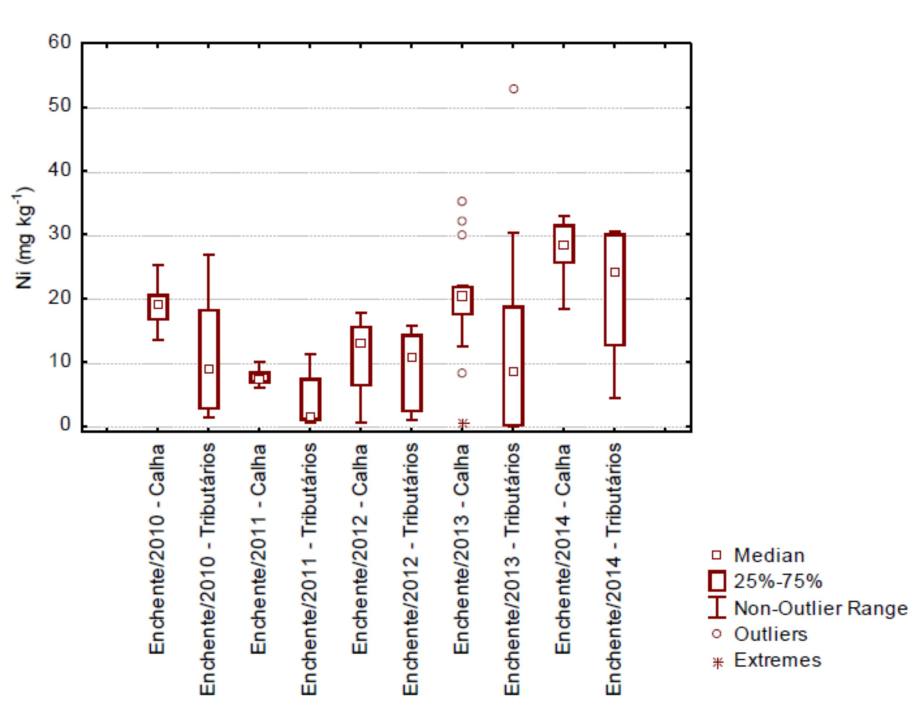


Figura 48 – Boxplot das concentrações de níquel nas amostras de sedimento coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente de 2010 a 2014.

As concentrações de chumbo (Pb) nas amostras de sedimento coletadas na calha do rio Madeira, no período hidrológico de enchente de 2014, apresentaram mediana 7,12 e valor médio $7,02 \pm 1,75$ mg kg⁻¹. Nos tributários a mediana foi 6,03 e valor médio $5,75 \pm 1,82$ mg kg⁻¹. O estudo em transecto indica uma tendência heterogênea das concentrações de Pb ao longo do rio Madeira (**Figura 49**), sendo no rio Mamoré (P1-MAM) 8,84 mg kg⁻¹ e rio Beni (P1.2-BENI) 6,68 mg kg⁻¹, seguindo dos valores P2-MAD 1 $6,71 \pm 2,49$, P6-MAD 2 $5,78 \pm 0,96$, P9-MAD 3 $6,45 \pm 1,62$, P14-MAD 4 $6,19 \pm 2,69$, P18-MAD 5 $8,37 \pm 1,23$ e P19-MAD 6 $8,13 \pm 0,46$ mg kg⁻¹.

A série temporal das concentrações de Pb nas amostras de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2011 a 2014 (**Figura 50**) evidencia aumento das concentrações ao longo do tempo e a prevalência das menores concentrações na calha do rio Madeira quando comparado aos tributários.

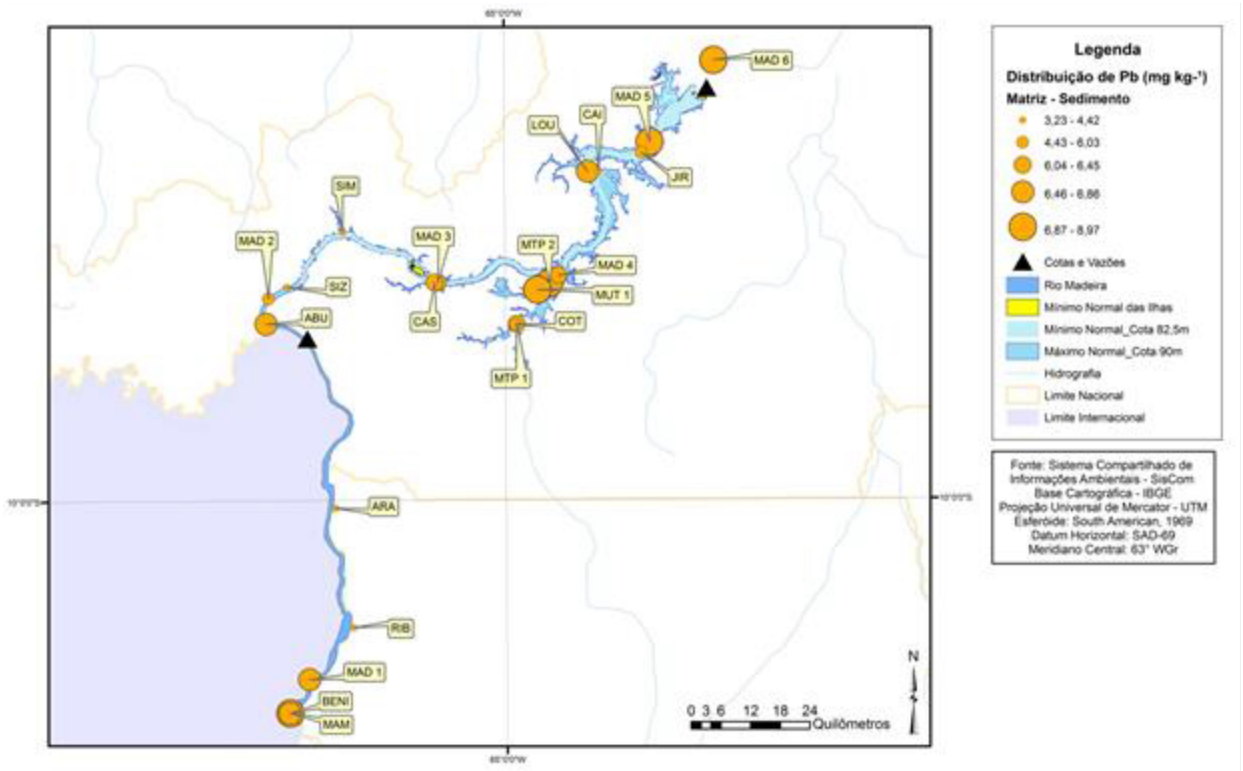


Figura 49 – Distribuição das concentrações de chumbo nas amostras de sedimento coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente (18 a 25/01/2014).

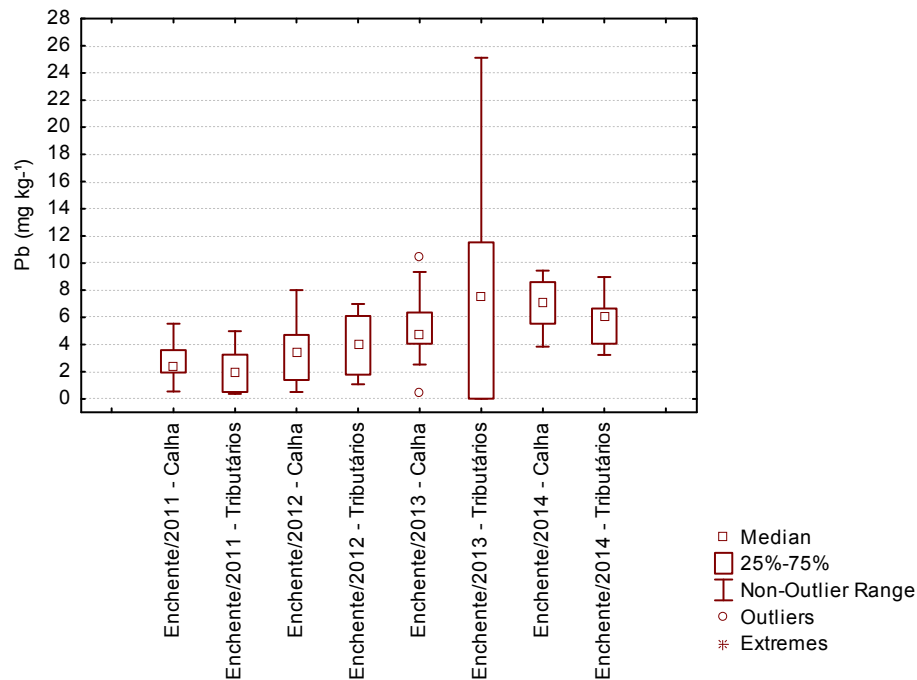


Figura 50 – Boxplot das concentrações de chumbo nas amostras de sedimento coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente de 2011 a 2014.

As concentrações de zinco (Zn) nas amostras de sedimento coletadas na calha do rio Madeira, no período hidrológico de enchente de 2014, apresentaram mediana 149,15 e valor médio $149,86 \pm 15,39 \text{ mg kg}^{-1}$. Nos tributários a mediana foi 84,69 e valor médio $78,80 \pm 18,07 \text{ mg kg}^{-1}$, com exceção dos pontos no rio Abunã (P5-ABU), do Igarapé Castanho (P10-CAS), da Área alagada do Mutum (P13-MUT 1) e Foz do Mutum (P20-MTP 2) os quais apresentaram mediana 138,17 e valor médio $78,80 \pm 18,07 \text{ mg kg}^{-1}$. O estudo em transecto mostra uma tendência heterogênea das concentrações de Zn ao longo do rio Madeira (**Figura 45**), sendo no rio Mamoré (P1-MAM) de $118,37 \text{ mg kg}^{-1}$ e rio Beni (P1.2-BENI) $140,32 \text{ mg kg}^{-1}$, seguindo dos valores P2-MAD 1 $155,71 \pm 24,17$, P6-MAD 2 $147,66 \pm 17,37$, P9-MAD 3 $154,46 \pm 9,31$, P14-MAD 4 $150,95 \pm 16,28$, P18-MAD 5 $148,26 \pm 12,13$ e P19-MAD 6 $155,79 \pm 13,30 \text{ mg kg}^{-1}$.

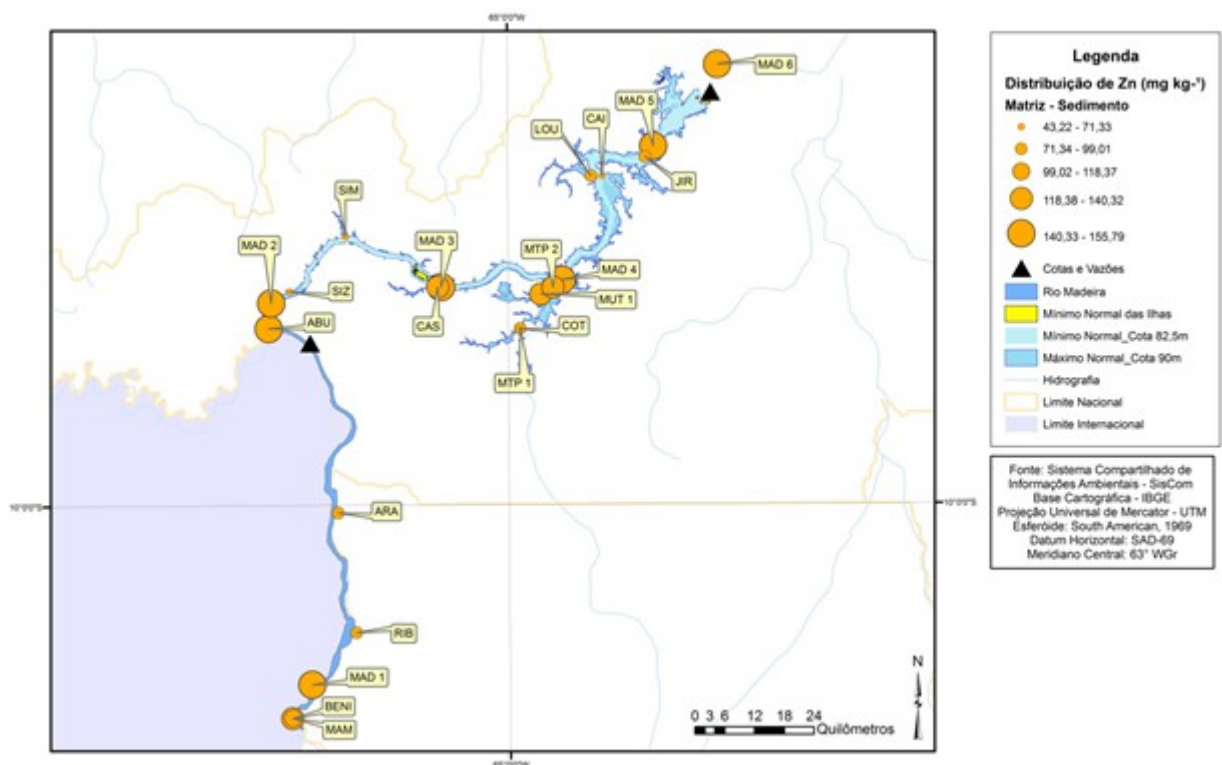


Figura 51 – Distribuição das concentrações de zinco nas amostras de sedimento coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente (18 a 25/01/2014).

A série temporal das concentrações de Zn nas amostras de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a 2014 (**Figura 52**) evidencia aumento da concentração ao longo do tempo com e a prevalência das maiores concentrações na calha do rio Madeira quando comparado aos tributários.

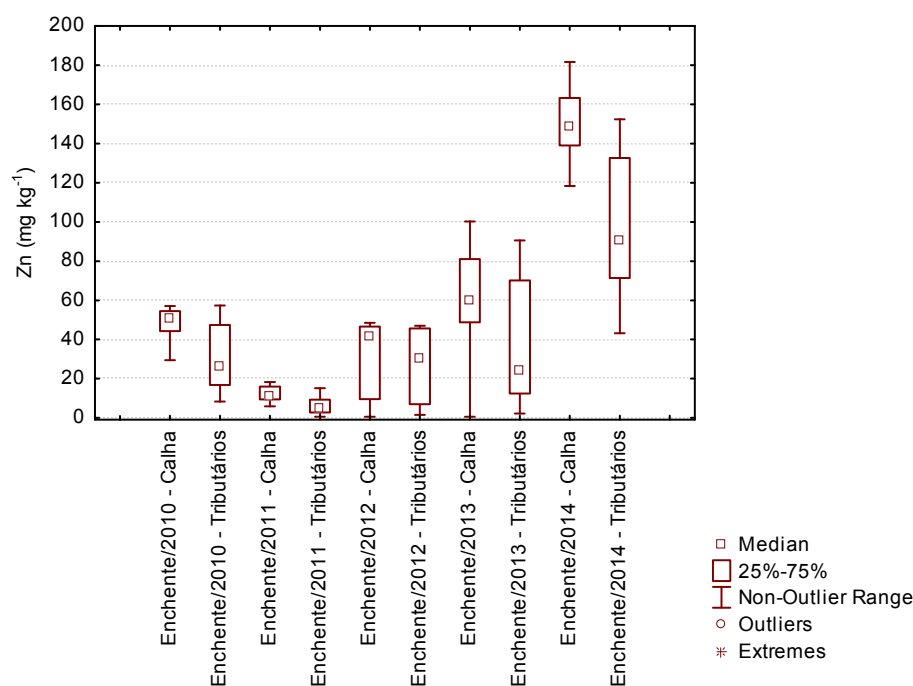


Figura 52 – Boxplot das concentrações de zinco nas amostras de sedimento coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente de 2010 a 2014.

A resolução CONAMA N° 454/2012 estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas. A classificação do material a ser dragado são definidos critérios de qualidade sendo o nível 1 o limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota e o nível 2 o limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota. Esta resolução preconiza para As o nível I de 5,9 mg kg⁻¹ e nível II de 17 mg kg⁻¹, para Cd o nível I de 0,6 mg kg⁻¹ e nível II de 3,5 mg kg⁻¹, para Cr o nível I de 37,3 mg kg⁻¹ e nível II de 90 mg kg⁻¹, para Ni o nível I de 18 mg kg⁻¹ e nível II de 35,9 mg kg⁻¹, para Pb o nível I de 35 mg kg⁻¹ e nível II de 91,3 mg kg⁻¹ e para Zn o nível I de 123 mg kg⁻¹ e nível II de 315 mg kg⁻¹.

As séries temporais das concentrações dos elementos traço nas amostras de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2010 a 2014 evidenciam a prevalência das maiores concentrações na calha do rio Madeira quando comparado aos tributários e o aumento da concentração de Cr, Mn, Ni, Pb e Zn ao longo do tempo, possivelmente devido ao aumento da área permanentemente alagada, entretanto os teores de elementos traço encontrados em todas as amostras analisadas atendem os valores preconizados pela resolução CONAMA N° 454/2012.

6- ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados obtidos das concentrações de elementos traço, na matriz água, para os períodos hidrológicos de enchente 2011 a 2014, nas estações na calha do rio Madeira e nos tributários (AF), apresentados na **Tabela 06**, mostram as médias das concentrações do Mn e Zn, seus desvios padrões e períodos versus estações analisados. O período de enchente de 2010 apresentou concentrações de Mn e Zn abaixo do limite de detecção, em função disso esse período foi excluído das análises a seguir.

Tabela 06. Concentrações médias (mg L⁻¹) e desvios padrões (DP) de manganês e zinco, em amostras de água, dispostas por período hidrológico (enchente 2011 a 2014); estações (calha do rio Madeira e tributários); e período hidrológicos versus estações.

	Nível	Nível	N	Mn	Mn	Zn	Zn
				Média	DP	Média	DP
Total			142	0,170	0,150	0,039	0,029
Período	Enchente-2011		33	0,031	0,033	0,045	0,046
Período	Enchente-2012		33	0,128	0,087	0,022	0,014
Período	Enchente-2013		43	0,141	0,060	0,052	0,021
Período	Enchente-2014		33	0,390	0,116	0,034	0,012
Estações	Afluente		63	0,154	0,184	0,038	0,035
Estações	Calha		79	0,183	0,116	0,041	0,022
Período*Estações	Enchente-	Afluente	13	0,015	0,011	0,047	0,061

	2011						
Período*Estações	Enchente- 2011	Rio Madeira	20	0,043	0,037	0,044	0,035
Período*Estações	Enchente- 2012	Afluente	24	0,036	0,028	0,007	0,005

Tabela 06. Concentrações médias (mg L⁻¹) e desvios padrões (DP) de manganês e zinco, em amostras de água, dispostas por período hidrológico (enchente 2011 a 2013); estações (calha do rio Madeira e tributários); e período hidrológicos versus estações_Continuação.

	Nível	Nível	N	Mn	Mn	Zn	Zn
Período*Estações	Enchente- 2012	Rio Madeira	19	0,187	0,054	0,032	0,009
Período*Estações	Enchente- 2013	Afluente	13	0,114	0,058	0,050	0,025
Período*Estações	Enchente- 2013	Rio Madeira	20	0,175	0,042	0,055	0,015
Período*Estações	Enchente- 2014	Afluente	13	0,487	0,090	0,037	0,012
Período*Estações	Enchente- 2014	Rio Madeira	20	0,327	0,083	0,032	0,011

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) ou Análise de Variância Multifatorial (**Tabela 07**) foi aplicada para averiguar as hipóteses nulas e seus níveis de significância das concentrações de Mn e Zn entre os períodos hidrológicos de enchente de 2011 a 2014 e entre as estações de amostragem nos tributários e na calha do rio Madeira, possibilitando checar a existência das diferenças entre estações de amostragem e os períodos hidrológicos caso as hipóteses nulas entre os níveis categóricos sejam rejeitadas. A análise mostrou haver diferenças significativas apenas para os fatores períodos hidrológicos e períodos vs estações. O valor de alfa adotado para o nível de significância foi de 0,05 (5%) para o teste de Wilks. Portanto a hipótese nula para período foi rejeitada, aceitando assim a hipótese alternativa, onde se infere pela diferença das variâncias entre os períodos hidrológicos e entre os fatores, indicando assim populações estatisticamente diferentes. Entretanto, a hipótese nula para estações não foi rejeitada.

Tabela 07. Análise de Variâncias Multivariadas das concentrações dos elementos traço na matriz água superficial, nos períodos hidrológicos (enchente de 2011 a 2014), estações (calha e afluentes) no rio Madeira e períodos versus estações.

	Teste	Valor	F	Effect	Erro	P
Intercepto	Wilks	0,081365	750,8004	2	133	0,000000
Estações	Wilks	0,960715	2,7193	2	133	0,069590
Períodos	Wilks	0,117904	84,7787	6	266	0,000000
hidrológicos						
Estações*Período	Wilks	0,499552	18,3916	6	266	0,000000

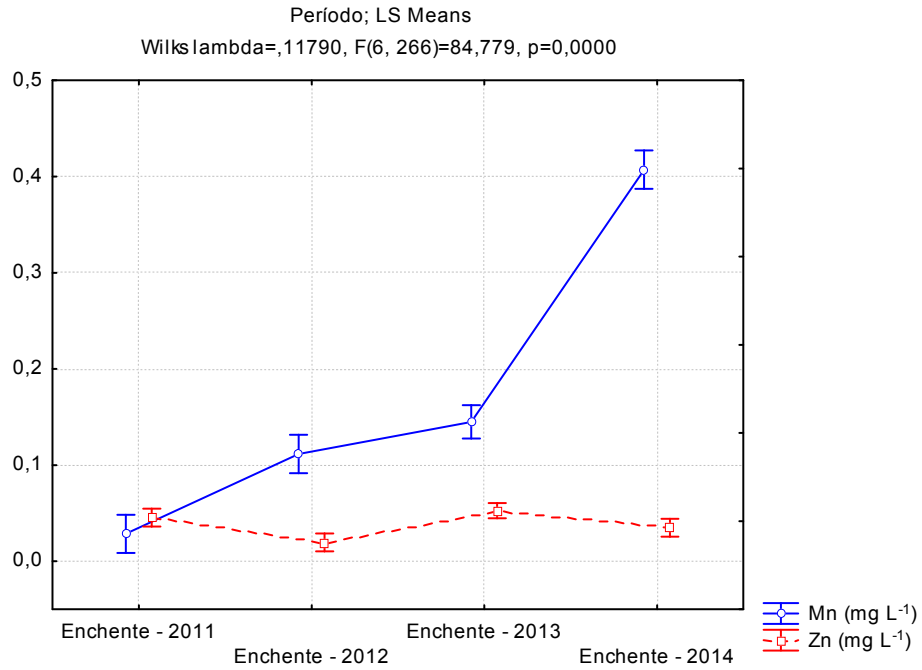
O teste univariado mostra o nível de significância entre as interações de Mn e Zn com os níveis categóricos ou fatores (estações de amostragem e períodos hidrológicos) e entre estes fatores (**Tabela 08**). A análise possibilita inferir, de forma geral, que Mn apresentou diferenças significativas em suas concentrações médias no fator período e entre os fatores e o Zn apresentou diferenças significativas apenas no fator período.

Tabela 08 - Teste Univariado de manganês e zinco, em amostras de água superficial, nos níveis categóricos: períodos (enchente de 2011 a 2014), estações (Rio Madeira e Afluentes) e entre os níveis categóricos ou fatores.

	Grau	Mn F	Mn P	Zn F	Zn P
Intercepto	1	1257,633	0,000000	282,7314	0,000000
Estações	1	4,269	0,040737	1,3200	0,252643
Período	3	263,683	0,000000	10,3647	0,000004
Estações*Período	3	42,339	0,000000	2,0635	0,108050
Erro	134				
Total	141				

As variabilidades nas concentrações dos elementos traço por período hidrológico estão ilustradas, por meio da análise gráfica do tipo boxplot, que traduz as diferenças significativas encontradas nas variâncias das concentrações dos elementos, entre os períodos de enchente de 2011 a 2014 (**Figura 53**). As concentrações dos elementos traço comparadas pelo nível categórico ou fator das estações de amostragem nos tributários (Afluentes) e na calha do rio Madeira estão ilustradas na **Figura 54**, a qual mostra as diferenças entre as estações de amostragem. As interações entre os níveis categóricos (períodos hidrológicos e

estações de amostragem) possibilitam a verificação da dinâmica fluvial destes elementos no tempo e espaço, como ilustrado na (Figura 55).



Figuras 53 – Boxplot das concentrações de manganês e zinco em amostras de água superficial, por período hidrológico, coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente de 2011 a 2014.

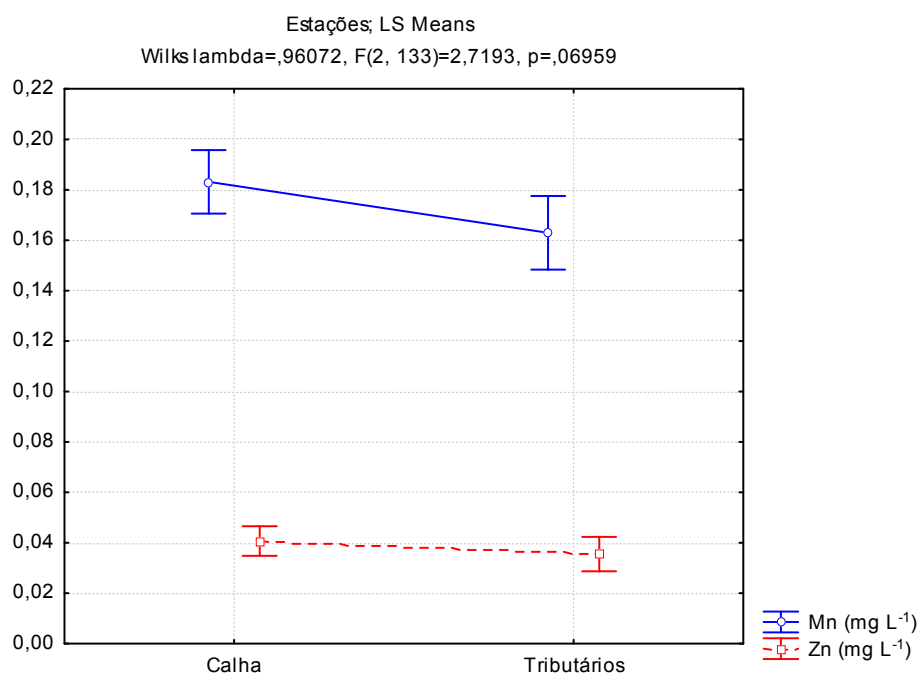


Figura 54 – Boxplot das concentrações de manganês e zinco em amostras de água superficial, por estações de amostragem (calha e tributários), coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente de 2011 a 2014.

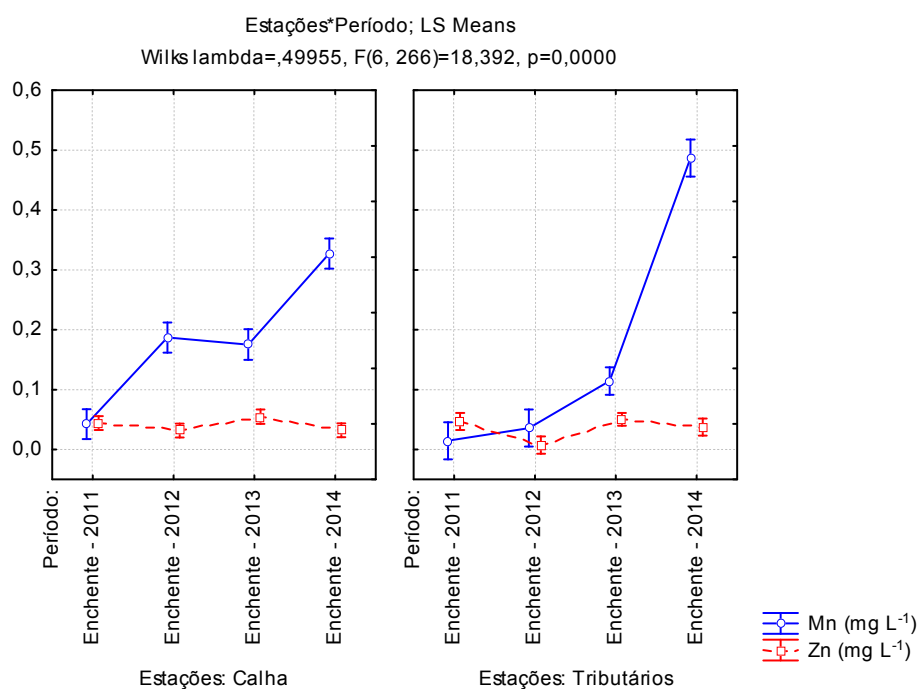


Figura 55 – Boxplot das comparações entre os períodos (enchente de 2011 a 2014) e estações (calha e tributários) para as concentrações de manganês e zinco em amostras de água superficial, coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira.

A **Tabela 09** apresenta as médias das concentrações do Cr, Mn, Ni, Pb e Zn e seus desvios padrões em amostras de sedimento, para os períodos de enchente (2010 a 2014), estações (calha e tributários) e fator períodos versus fator estações.

Tabela 09. Concentrações médias e desvios padrões dos elementos Cr, Mn, Ni, Pb e Zn (mg kg^{-1}), em amostras de sedimento, dispostas por período (enchente de 2010 a 2014), estações (calha e tributários) e períodos versus estações.

	Nível	Nível	N	Cr	Cr	Mn	Mn	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn
				Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Total			174	10,50	10,81	131,66	72,25	14,60	10,11	4,99	3,85	52,09	46,38
Período	Enchente-2010		32	3,55	1,41	198,01	78,50	15,69	7,02	-	-	41,75	15,03
Período	Enchente-2011		33	4,83	1,81	105,31	67,73	6,16	3,20	2,52	1,45	9,92	4,93
Período	Enchente-2012		32	3,95	2,28	108,66	61,91	10,04	5,91	3,65	2,15	29,10	19,05
Período	Enchente-2013		44	17,74	13,13	100,23	54,68	15,68	12,06	6,67	5,51	50,06	29,62

Tabela 09. Concentrações médias e desvios padrões dos elementos Cr, Mn, Ni, Pb e Zn (mg kg^{-1}), em amostras de sedimento, dispostas por período (enchente de 2010 a 2014), estações (calha e tributários) e períodos versus estações_Continuação.

	Nível	Nível	N	Cr	Cr	Mn	Mn	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn
				Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Período	Enchente-2014		33	19,59	10,41	157,87	47,14	24,96	7,59	6,52	1,86	129,33	35,01
Estações	Afluente		74	9,98	8,44	107,21	84,17	11,37	10,96	5,53	5,06	40,61	37,80
Estações	Rio Madeira		100	10,88	12,30	149,75	55,86	16,99	8,75	4,57	2,49	60,59	50,33
Período	Enchente-2010	Afluente	12	3,90	1,92	183,98	116,26	10,62	8,86	-	-	30,68	17,88
Período	Enchente-2010	Rio Madeira	20	3,35	0,98	206,42	45,05	18,73	2,98	-	-	48,39	7,74
Período	Enchente-2011	Afluente	13	3,98	2,15	54,84	77,99	4,04	4,15	2,20	1,66	6,54	4,64
Período	Enchente-2011	Rio Madeira	20	5,39	1,34	138,12	31,76	7,54	1,10	2,73	1,30	12,11	3,79
Período	Enchente	Afluente	12	4,32	2,64	84,60	66,40	8,67	6,11	4,04	2,1	27,0	19,44

*Estações	-2012	ue nte									8	0	
Período	Enchente	Rio	20	3,73	2,07	123,10	55,82	10,86	5,80	10,86	2,1	30,3	19,21
*Estações	-2012	Ma dei ra									5	6	
Período	Enchente	Afl	24	19,07	17,46	118,40	52,17	20,32	8,38	5,13	2,2	62,2	23,12
*Estações	-2013	ue nte									0	4	
Período	Enchente	Rio	20	19,07	17,46	118,40	52,17	20,32	8,38	5,13	2,2	62,2	23,12
*Estações	-2013	Ma dei ra									0	4	
Período	Enchente	Rio	13	14,58	8,32	150,41	53,07	21,06	9,74	5,75	1,8	97,7	33,32
*Estações	-2014	Ma dei ra									2	4	
Período	Enchente	Afl	20	22,85	10,51	162,72	43,60	27,50	4,46	7,02	1,7	149,	15,39
*Estações	-2014	ue nte									5	86	

A análise de variância multivariada (ANOVA/MANOVA) ou Análise de Variância Multifatorial (**Tabela 10**) foi aplicada para averiguar as hipóteses nulas e seus níveis de significância das concentrações de Cr, Mn, Ni, Pb e Zn entre os períodos de enchente de 2010 a 2014 e entre as estações de amostragem nos tributários e calha do rio Madeira, permitindo checar a existência das diferenças entre estações de amostragem e os períodos hidrológicos caso as hipóteses nulas entre os níveis categóricos sejam rejeitadas. Esta análise mostrou haver diferenças significativas para todos os fatores. O valor de alfa adotado para o nível de significância foi de 0,05 (5%) para o teste de Wilks. Portanto a hipótese nula para todos os níveis categóricos foram rejeitadas, aceitando assim a hipótese alternativa, onde se infere pela diferença das variâncias, indicando assim populações estatisticamente diferentes.

Tabela 10. Análise de Variâncias Multivariada das concentrações de Cr, Mn, Ni, Pb e Zn (mg kg⁻¹), em amostras de sedimento, nos períodos (enchente de 2010 a 2014), nas estações (calha e tributários) e períodos versus estações.

	Test	Value	F	Effect	Error	P
Intercept	Wilks	0,104662	273,7454	5	160,0000	0,000000
Estação	Wilks	0,698710	13,7987	5	160,0000	0,000000
Período	Wilks	0,071867	32,2134	20	531,6098	0,000000
Estação*Período	Wilks	0,639752	3,8321	20	531,6098	0,000000

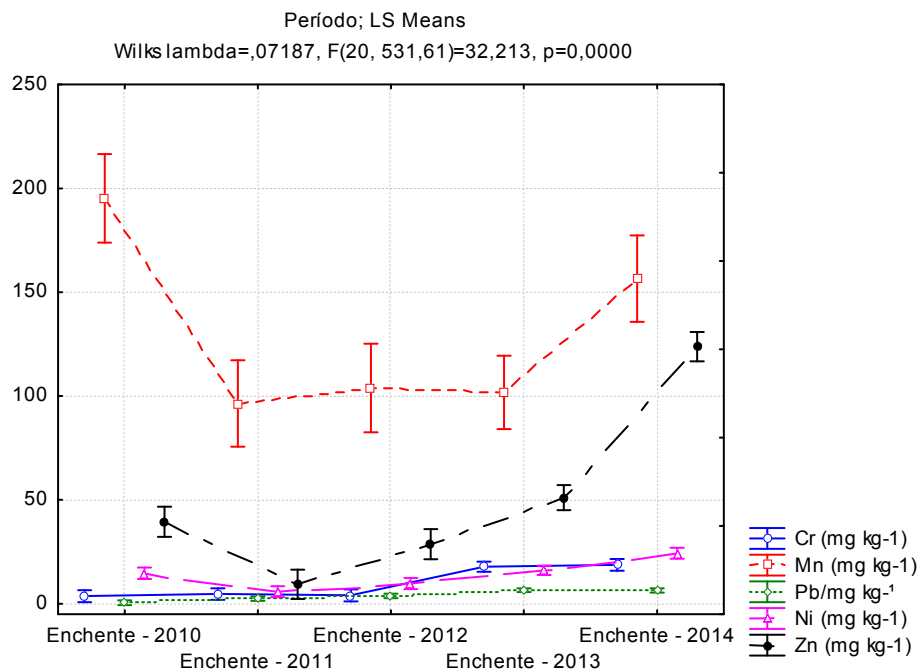
O teste univariado mostra o nível de significância entre as interações dos elementos Cr, Mn, Ni, Pb e Zn com os níveis categóricos ou fatores (estações de amostragem e períodos hidrológicos) e entre estes fatores (**Tabela 11**). A análise permite inferir que apenas Cr, Mn e Pb não apresentaram diferença significativa em suas concentrações médias na interação entre fatores (períodos e estações), no fator estação de amostragem apenas o Cr e Ni não apresentaram diferenças significativas e no fator período hidrológico apenas todos apresentaram diferença significativa.

Tabela 11 - Teste Univariado das concentrações de Cr, Mn, Ni, Pb e Zn (mg kg⁻¹), em amostras de sedimento, nos períodos (enchente de 2010 a 2014), nas estações (calha e tributários) e períodos versus estações.

	Gra	Cr	Cr	Mn	Mn	Ni	Ni	Pb	Pb	Zn	Zn
	u	F	P	F	p	F	p	F	p	F	p
Intercept	1	241,9397	0,000000	798,8618	0,000000	271,3253	0,000000	574,3785	0,000000	1027,037	0,000000
Estação	1	3,0513	0,082545	16,8359	0,000064	0,5159	0,473622	23,8000	0,000003	41,192	0,000000
Período	4	31,8609	0,000000	17,1647	0,000000	24,1253	0,000000	27,2571	0,000000	148,431	0,000000
Estação*Período	4	1,5911	0,179057	1,6738	0,158475	2,5205	0,043149	1,1539	0,333246	7,35918	0,000000
Error	164										
Total	173										

As variabilidades nas concentrações dos elementos por período hidrológico estão ilustradas, por meio da análise gráfica do tipo boxplot, que traduz as diferenças significativas encontradas nas variâncias das concentrações dos elementos, entre os períodos hidrológicos de enchente de 2010 a 2014 (**Figura 56**).

As concentrações dos elementos comparadas pelo nível categórico ou fator das estações de amostragem no rio Madeira (**Figura 57**), ilustram bem as diferenças entre as estações, sendo que apenas para os elementos Cr e Ni não foi encontrado diferença significativa entre suas concentrações. As interações entre os níveis categóricos (períodos hidrológicos e estações de amostragem) possibilitam a verificação da dinâmica fluvial desses elementos no tempo e espaço, como ilustrado na (**Figura 58**).



Figuras 56 – Boxplot das concentrações de Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em amostras de sedimento, coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente de 2010 a 2014.

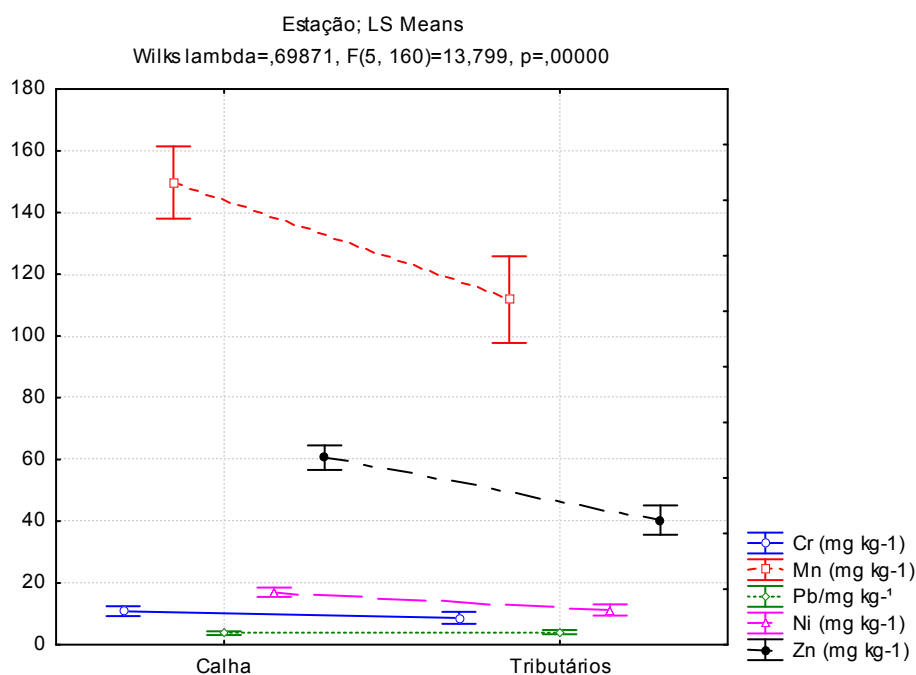


Figura 57 – Boxplot das concentrações de Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em amostras de sedimento, coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente de 2010 a 2014.

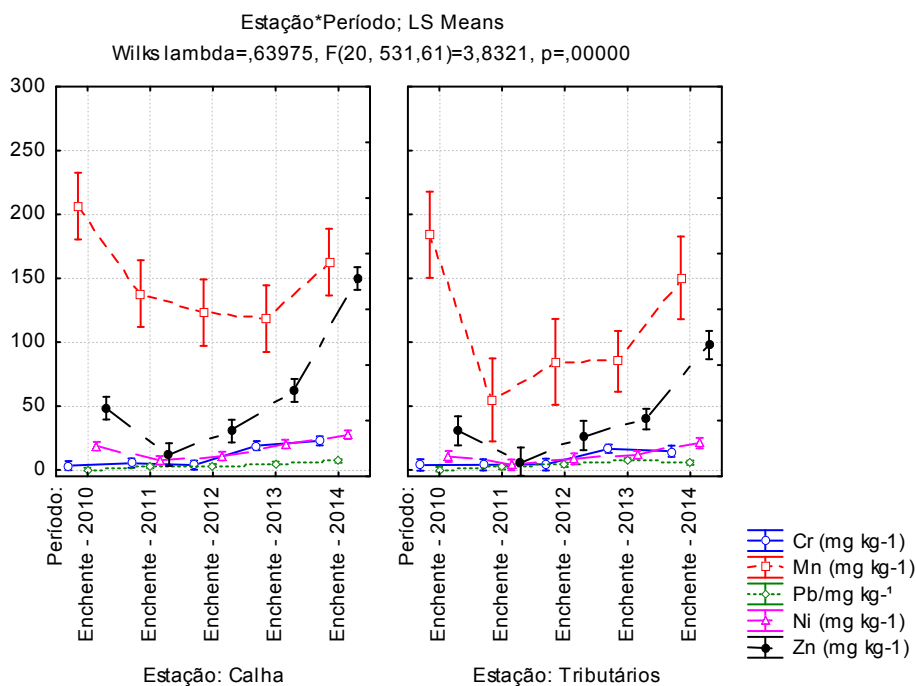


Figura 58 – Boxplot das concentrações de Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em amostras de sedimento entre os fatores período hidrológicos e estações de amostragem, coletadas no rio Madeira e seus tributários, na área de influência direta e indireta do alto rio Madeira, período de enchente de 2010 a 2014.

7- CONCLUSÃO

Os teores de elementos traço encontrados nas amostras de água superficial estão abaixo dos valores preconizados pela Resolução CONAMA 357/2005 referente aos corpos de água doce classe II e Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, entretanto os teores de crômio estão em intervalos limítrofes quando considerados os teores preconizados pela legislação brasileira.

As concentrações de As, Cd, Cr, Ni, Pb e Zn nas amostras de sedimento coletadas nos tributários e calha do rio Madeira estão abaixo dos níveis preconizados pela resolução CONAMA N° 454/2012. As concentrações dos elementos analisadas segundo as amostras de solo, também atendem à resolução 420/2009, que regulamenta a os teores nessa matriz.

8- CONSIDERAÇÕES FINAIS

As comparações estatísticas entre períodos hidrológicas semelhantes, neste caso período hidrológico de enchente de 2010 a 2014, reforçam a complexidade, pois mesmo em períodos hidrológicos semelhantes foram observadas às flutuações nas concentrações dos elementos traço. Estas flutuações podem ser consideradas com pulsos anuais de metais oriundos do degelo andino e das lixiviações dos solos. Vários fatores ambientais e iterações se modificam e influenciam os ciclos biogeoquímicos da bacia hidrográfica em estudo. Os elementos Cr, Mn, Ni, Pb e Zn analisados estão associados a três fontes principais que são rocha/solo autóctone; transporte aéreo; transporte hídrico que pode ser via erosão/lixiviação e ainda do degelo das geleiras dos Andes. A área da bacia hidrográfica do rio Madeira é bastante extensa sofrendo ainda impactos do desmatamento e queimadas das florestas tropicais, fontes antrópicas que, por sua vez, aumentam a entrada de elementos traço via cinzas. Neste sentido, o estudo da biogeoquímica associado aos testes estatísticos multifatoriais é essencial, para o entendimento e elucidação das respostas funcionais desses elementos na estrutura e composição deste ecossistema ou ecossistemas envolvidos.

9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDARADE, R.C.B.; PATCHINEELAM, S.R. Especificação de metais-traço em sedimentos de florestas de manguezais com *Avicennia* e *Rhizophora*. *Rev. Química Nova*. 2000, 23, 733

AALTO, R.; MAURICE-BOURGOIN, L.; DUNNE, T.; MONTGOMERY, D.R.; NITTROUER, C.A.; GUYOT, J.L. (2003). Episodic sediment accumulation on Amazonian flood plains influenced by El Niño/Southern Oscillation. *Nature*, 425: 493-497.

BARRETO, W.J.; RIBEIRO, M.R.; SOLCI, M.C.; SCARMINIO, I.S.; NOZAKI, J.; DE OLIVEIRA, E.; BARRETO, S.R.G. (2005) Interpretation of seasonal variation of metals and abiotic properties in a tropical lake using multivariate analysis and MINTEQA2 program. *Analytical Sciences*, 213: 209-214.

BERNARD, P.; ANTOINE, L.; BERNARD, L. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management-application to a tropical lake system. *Ecological Modelling*, 2004, 178, 295.

BERNARDI, J.V.E.; FOWLER, H.G.; LANDIM, P.M.B. Um estudo de impacto ambiental utilizando análises estatísticas espacial e multivariada. *Holos Environmental*, 2001, 1, 162.

BERNARDI, J.V.E.; Lacerda, L.D.; Dórea, J.G.; Landim, P.M.B.; Gomes, J.P.O.; Almeida, R.; Manzatto, A.G.; Bastos, W.R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no Alto Rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. *Geochimica Brasiliensis*, 2009, 23, 079.

BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS n.º 2914/2011/Ministério da Saúde – Brasília, Editora do Ministério da Saúde, 2005.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA RESOLUÇÃO CONAMA n.º 357, Brasília, 2005

CABRAL, C. M. Projeto: Estudo da contaminação ambiental e humana por poluentes inorgânicos e orgânicos nos rios Guaporé, Mamoré e Madeira - RO com georeferenciamento dos dados a partir do uso de geoprocessamento (ESCOPOGEO). Sub-projeto: Análise de selênio em peixes, vegetais e solos do Lago Puruzinho – Amazônia, 2006

CASTANÉ, P.M.; ROVEDATTI, M.G.; TOPALIAN, M.L.; SALIBIAN, A. (2006) Spatial and temporal trends of physicochemical parameters in the water of the Reconquista River (BuenosAires,Argentina). *Environmental Monitoring and Assessment*, 2006, 117, 135.

DOREA, J. G.; MOREIRA, M. B.; BARBOSA, A. A. C. Selenium and mercury concentrations in some fish species of the Madeira River, Amazon Basin, Brazil. *Biol. Trace Elem.* 1998, 65, 211.

ELDAW, A.K.; SALAS, J.D.; GARCIA, L.A. Long-range forecasting of the Nile River Flows Using Climatic Forcing. *Journal of Applied Meteorology*, 2003, 27, 890.

FORAN, J.A. Toxic substances in surface waters. *Environm. Sci. Technol.* 1990, 24, 604.

GALVÃO, R. C. F.; BERNARDI, J. V. E.; ALMEIDA, R.; BASTOS, W. R.; GOMES, J. P. O. Relação espacial do mercúrio e elementos traços em sedimento de fundo no alto rio Madeira. *Anais do Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul.* 2007, 51.

GUYOT, J.L.; JOUANNEAU, J.M.; SOARES, L.; BOAVENTURA, G.R.; MAILLET, N.; LAGANE, C. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. *Catena*, 2007, 71, 340.

GUYOT, J.L.; JOUANNEAU, J.M.; WASSON, J.G. (1999) Characterization of river bed and suspended sediments in the Madeira River drainage basin (Bolivian Amazonian), *Journal of South American Earth Sciences*, 1999, 12, 401.

LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C.; SINHA, R. Tropical rivers. *Geomorphology*, 2005, 70, 187.

LYONS, W.B. & BIRD, D.A. Geochemistry of the Madeira River, Brazil: comparison of seasonal weathering reactions using a mass balance approach. *Journal of South American Earth Sciences*, 1995, 8, 97.

MACKAY, D.; CLARK, K.E. 1991. Predicting the environmental partitioning of organic contaminants and their transfer to biota. In: Jones, K.C. (ed) *Organic Contaminants in the Environment*. *Environm. Managem. Series*, Elsevier Science Pub, New York

MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; DEMATTE, J.L.I.; RICHEY, J.E.; DEVOL, A.H. Chemical and Mineralogical composition of Amazon River floodplain sediments. Brazil. *Appl. Geochem.*, 1993, 8, 391.

MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; DEVOL, A.H.; RICHEY, J.E.; FORSBERG, B.R. (1989) Suspended sediment load in the Amazon Basin: an overview. *GeoJournal*, 1989, 19, 381.

MONTES-BOTELLA, C.; TENORIO, M.D. Water Characterization and Seasonal Heavy Metal Distribution in the Odiel River (Huelva, Spain) by Means of Principal Component Analysis. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, 2003, 45, 436.

MORTATTI, J.; FERREIRA, J.R.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; TANCREDI, A.C.F. Biogeochemistry of the Madeira River Basin. *GeoJournal*, 1989, 19, 391.

PEREIRA, P.F.; SILVA, J.L.; MENDES, A.S.; SIQUEIRA, G.W. Avaliação do fósforo total e disponível em sedimentos da Plataforma Amazônica. *Anais do XL CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA*. 2000, 348

ROCHA, J.C.; SARGENTINI JÚNIOR, É.; ZARA, L.F.; ROSA, A.H.; SANTOS, A.; BURBA, P. Reduction of mercury(II) by tropical river humic substances (Rio Negro) - A possible process of the mercury cycle in Brazil *Talanta* 2000, 53, 551.

ROCHA, J.C.; SARGENTINI JÚNIOR, É.; ZARA, L.F.; ROSA, A.H.; SANTOS, A.; BURBA, P. Reduction of mercury(II) by tropical river humic substances (Rio Negro) - Part II. Influence of structural features (molecular size, aromaticity, phenolic groups, organically bound sulfur) *Talanta* 2003, 61, 699.

SEYLER, P.T.; BOAVENTURA, G. R. 2001. Trace elements in the mainstream Amazon river. In: McClain, M.E.; Victoria, F.R.L.; Richey, J.E. (Eds). *The biogeochemistry of the Amazon basin*. Oxford Press

SIQUEIRA, G. W.; PEREIRA, S. F. P.; APRILE, F. M.; Determinação dos elementos-traço (Zn, Co e Ni) em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica sob influência da descarga do rio Amazonas *Acta Amazônica* 2006, 36,321.

WREN, C. D.; Maccrimmon, H. R. Examination of bioaccumulation and biomagnification of metals in a precambrian shield lake *Water Air Soil Pollut.* 1983, 19, 27791.