



Metais em sedimentos de fundo na bacia do alto rio Madeira, Bacia Amazônica¹

Railane Inácio dos Santos²; Neila de Almeida Braga³; Maria Cristina Nery do Nascimento Recktenvald⁴; Dario Pires de Carvalho⁴; Márcio Rodrigues Miranda⁴; Angelo Gilberto Manzatto⁴; Wanderley Rodrigues Bastos⁴

Submetido 29/01/2015 – Aceito 19/02/2015 – Publicado on-line 23/03/2015

Resumo

O presente estudo teve como objetivo avaliar os níveis dos metais Cr, Co, Ni, Cu, Zn e Pb em sedimentos de fundo no entorno da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio construída no Alto Rio Madeira nas proximidades da cidade de Porto Velho. As amostras de sedimento de fundo foram coletadas em 5 pontos no rio Madeira, em mais 3 tributários de sua margem direita, rio Jaci Paraná, igarapé Belmont e igarapé Jatuarana, e 2 da margem esquerda, rio Caripunas e rio Jatuarana, além de 2 afluentes do rio Jaci Paraná: rios Branco e Contra. As amostras foram coletadas trimestralmente no período entre dezembro/2011 e junho/2013, período posterior ao enchimento do reservatório da UHE-Santo Antônio. As amostras de sedimentos foram peneiradas na fração <200 mesh (<74 µm), a extração dos elementos químicos foi realizada por digestão com HNO₃ e HCl, e a quantificação foi realizada por espectrometria de absorção atômica por chama. As concentrações dos metais seguiram a seguinte ordem Zn>Ni>Cu>Pb>Co>Cr no rio Madeira e Zn>Pb>Cu>Ni>Co>Cr nos tributários. A análise estatística multivariada por HCA apontou similaridades entre os pontos do rio Madeira com os Igarapés Belmont e Jatuarana, e com o rio Jatuarana.

Palavras-Chave: Amazônia, geoquímica, elementos-traço

Metals present in bottom sediments from the Upper Madeira River, Amazon Basin. The present study aimed to evaluate the Cr, Co, Ni, Cu, Zn and Pb concentrations in bottom sediments surrounding Santo Antônio hydroelectric plant located in the Upper Madeira River. The bottom sediment samples were collected at 5 points in the Madeira River and in three tributaries of the right bank, Jaci Paraná river, Belmont small stream and Jatuarana small stream, and 2 from the left margin, Caripunas river and Jatuarana river, plus 2 Jaci-Paraná river tributaries: Branco and Contra rivers. Samples of bottom sediments were collected from December 2011 to June 2013, period subsequent to the filling of the Santo Antônio hydroelectric plant reservoir. The sediment samples were sieved in the fraction <200 mesh (<74 mm), the extraction of chemical elements was performed by digestion with HNO₃ and HCl, quantification was performed by flame atomic absorption. The metal concentrations followed the order Zn>Ni>Cu>Pb>Co>Cr in Madeira River and Zn>Pb>Cu>Ni>Co>Cr in tributaries. Multivariate statistical analyze HCA showed similarities between Madeira River and Belmont and Jatuarana small streams, and Jatuarana river.

Key-words: Amazon, geochemistry, trace elements

¹ Parte do trabalho de dissertação do primeiro autor no Programa de Pós-graduação em Química da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

² Técnica em Laboratório-Química, Departamento de Química, Instituto Federal de Rondônia Câmpus Colorado do Oeste, Rodovia 399, Km 05, Zona Rural, Colorado do Oeste, CEP 76.993-000, Colorado do Oeste-RO, Brasil, e-mail: railane.ufam@yahoo.com.br.

³ Professora do Departamento de Química da Universidade Federal do Amazonas, ICE, Av. Gal. Rodrigo Octávio, 3.000, Coroado II, Manaus, Amazonas, Brasil.

⁴ Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer / Universidade Federal de Rondônia. Rodovia BR364, Km 9,5, Sentido Acre. Porto Velho – RO, CEP 78.900-500 Porto Velho – RO, Brasil.

1. Introdução

O rio Madeira é o maior afluente da margem direita do rio Amazonas, com uma extensão de 1.459 km, tem origem nos Andes a partir da confluência dos rios Mamoré e Beni, até a sua foz no rio Amazonas (GOMES *et al.*, 2006). Recentemente, esse rio vem sofrendo grande alteração em sua dinâmica com a construção de duas barragens denominadas Complexo Hidrelétrico do rio Madeira (Usina Hidrelétrica (UHE)-Jirau e Hidrelétrica (UHE)-Santo Antônio).

Em virtude da grandeza desses empreendimentos, é possível prever mudanças no sistema hidrológico e sedimentar, em virtude do alagamento de diversas áreas ao longo da bacia deste rio. Sob o ponto de vista ambiental, os reservatórios atuam como concentradores de substâncias químicas provenientes da bacia de drenagem, fato que explica a necessidade de monitoramento de seu ecossistema (LIMA *et al.*, 2005).

No rio Madeira alguns estudos já foram realizados no intuito de se avaliar o nível de contaminação por metais pesados de seu ecossistema, principalmente o Hg (LECHLER *et al.*, 2000; BONOTTO e SILVEIRA, 2003; BASTOS *et al.*, 2008; BERNARDI *et al.*, 2009; QUEIROZ *et al.*, 2011), uma vez que essa região já foi intensamente explorada pela garimpagem de ouro entre as décadas de 70 e 90, onde foram despejadas toneladas de Hg ao longo deste rio (PFEIFFER e LACERDA, 1988; BASTOS e LACERDA, 2004; BASTOS *et al.*, 2005).

No entanto, essa área necessita de mais estudos sobre a concentração de outros metais pesados, especialmente nos sedimentos de fundo, visto que, não existem dados suficientes sobre os níveis de *background* nesse compartimento. Dessa forma, estudos que avaliam os níveis de metais em sedimentos de fundo do rio Madeira, tornam-se importantes pela necessidade de se conhecer os valores de referência dos metais com vistas a contribuir para diminuir os impactos ambientais decorrentes do desenvolvimento regional.

Neste sentido este trabalho visa investigar os níveis dos metais Cr, Co, Ni, Cu, Zn e Pb em sedimentos de fundo no Alto rio Madeira e em seus principais tributários em um período

posterior ao enchimento do reservatório da UHE-Santo Antônio, ocorrido em dezembro de 2011.

2. Material e Método

A área de estudo abrange parte do Alto rio Madeira, compreendendo áreas a montante e a jusante da construção da barragem da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio em Porto Velho (Figura 1), empreendimento situado a 10 km da cidade de Porto Velho tendo como limite a montante a Cachoeira de Jirau (cerca de 130 km da cidade de Porto Velho) e a jusante o igarapé Belmont.

As amostras de sedimento de fundo foram coletadas trimestralmente, nos meses de dezembro/2011, março/2012, junho/2012, setembro/2012, novembro/2012, março/2013 e junho/2013, período posterior ao enchimento do reservatório da UHE-Santo Antônio. As coletas foram realizadas no rio Madeira, e em alguns de seus principais tributários. Foram realizadas coletas em 5 pontos na calha do rio Madeira, nos tributários da margem direita rio Jaci Paraná, igarapés Belmont e Jatuarana, e da margem esquerda rios Caripunas e Jatuarana. Também foram realizadas coletas nos afluentes da margem direita e da margem esquerda do rio Jaci Paraná, conhecidos como rio Branco e rio Contra, respectivamente. As coletas foram realizadas empregando-se dragas de Eckman, que permite a coleta da camada mais reativa do sedimento de fundo – aproximadamente 5 cm de profundidade.

Após a coleta, as amostras de sedimento de fundo foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas resfriadas até a preparação das amostras no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer da Universidade Federal de Rondônia (UNIR). As amostras de sedimentos foram homogeneizadas a úmido nos próprios sacos de polietileno utilizados em campo, através da aplicação de água ultrapura (Milli-Q, Millipore) sendo, posteriormente, peneiradas na fração <200 mesh (<74 µm). Em seguida, a fração fina do sedimento foi transferida para um gral de porcelana e seco em estufa à temperatura de 40 °C para posterior extração química e quantificação dos elementos Cu, Cr, Co, Ni, Pb e Zn.

A extração dos elementos químicos foi realizada conforme Campos *et al.*, (2003), por digestão com os ácidos nítrico e clorídrico concentrados (HNO₃, HCl). Foram pesados

aproximadamente 2,0 gramas do peso seco das amostras em béqueres em duplicata. Foram adicionados 10,0 mL de HNO₃ concentrado (Tédia Brasil) e levados à chapa aquecedora (cerca de 100°C) até a total evaporação do ácido. Em seguida, foi adicionado 15,0 mL da solução química de HNO₃ e HCl (1:3) e levados novamente à chapa aquecedora, até a total evaporação do ácido. Por fim, foi adicionado 15,0

mL de HCl 0,1N, filtrados em papel de celulose 3 micras de porosidade (Whatman) em funis de polipropileno e acondicionados em tubos tipo falcon de 14,0 mL e o volume final foi aferido a 15 mL com H₂O ultra-pura (Milli-Q, Millipore) para a então quantificação no espectrofotômetro de absorção atômica de chama (AA-400, Perkin Elmer).

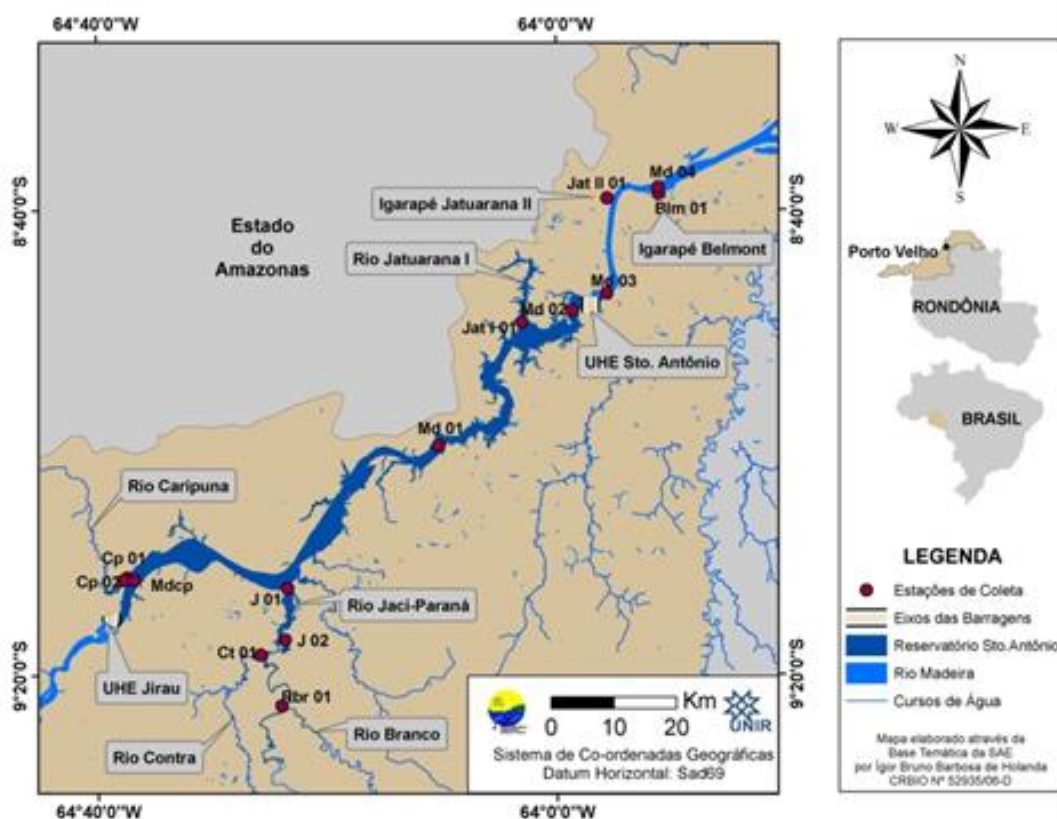


Figura 1- Área de estudo com a localização dos pontos de coleta, onde: Mdcp, Md01, Md02, Md03 e Md04 são os pontos na calha do rio Madeira de montante à jusante; J01 e J02 pontos no rio Jaci Paraná; Rbr01 ponto no rio Branco; Ct01 ponto no rio Contra; Cp01 e Cp02 pontos no rio Caripunas; Jat I 01 ponto no rio Jatuarana; Jat II 01 ponto no igarapé Jatuarana.

Todas as vidrarias passaram por um processo de descontaminação em ácido nítrico HNO₃ (5%) durante 24 horas e posterior enxágüe com água destilada. Como controle de qualidade das análises químicas, as amostras foram acompanhadas de dois brancos controles e amostra de referência certificada de SoloEnviroMAT SS-2 Soil Standard da SCP SCIENCE com valores conhecidos para os elementos Co, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn, cujas faixas de valores de taxas de recuperação para essa amostra certificada estão dispostas na Tabela 1.

Quanto aos tratamentos estatísticos, inicialmente foi realizada uma análise estatística

descritiva (média, desvio padrão, máximo e mínimo) para os conjuntos de dados gerados a partir das coletas no Madeira e tributários, em seguida, com o objetivo de encontrar padrões de similaridade entre os locais de coleta, foi empregada a técnica de análise estatística multivariada HCA (Hierarchical Clusters Analysis). A estatística multivariada aplicada à química é frequentemente utilizada no tratamento de dados analíticos, a fim de se verificar a existência de similaridades entre as amostras que, por sua vez, correspondem às semelhanças na composição química (MOITA NETO e MOITA, 1998; SANTANA e BARRONCAS, 2007).

3. Resultados e Discussão

3.1 Rio Madeira

Na Tabela 2 encontram-se os dados descritivos para o conjunto de dados gerado a partir das coletas no rio Madeira.

No rio Madeira, os metais encontrados em maior concentração foram Zn e Ni, enquanto que, Cr e Co destacaram-se como os menos abundantes. Avaliando-se o comportamento médio de cada metal nas estações de coleta da calha do rio Madeira foi possível verificar que o Zn apresentou a maior concentração média total dentre todos os metais estudados, ou seja, é o elemento mais abundante dentre os analisados nesse estudo.

Tabela 1- Faixas percentuais de taxas de recuperação obtidas para cada um dos metais.

Taxa de Recuperação (%)	Pb	Zn	Cr
	87-107	80-110	78-119
	Cu	Co	Ni
	87-107	91-107	81-108

Em média as maiores concentrações de Zn foram encontradas na estação de coleta Md04, esse ponto encontra-se à jusante da barragem da hidrelétrica, onde no entorno dessa área há evidências do uso da terra para a agricultura, além da existência de dragas abandonadas, estando algumas ainda em funcionamento, o que pode ter contribuído para os elevados níveis de zinco e de outros metais.

Gomes *et al.* (2009) ressaltam que a intensa extração de ouro ocorrida na década de 70 e 80, pode ter disponibilizado vários metais para o meio aquático, uma vez que, esses metais estão presentes em soldas e chapas metálicas, entre outros produtos utilizados na fabricação de balsas, dragas e demais embarcações do garimpo. Já nas proximidades da barragem nos pontos Md02 e Md03 foram encontrados os menores níveis de Zn.

O Ni foi o segundo elemento mais abundante. Em média, tanto as maiores como as menores concentrações desse metal foram encontradas nas proximidades da barragem respectivamente nas estações de coleta Md02 e Md03. O níquel ocorre naturalmente em vários tipos rochas e adentra no meio aquático por meio de mecanismos de intemperismo. A principal fonte de contaminação desse metal é dada pela emissão das atividades de fusão e refino do metal e disposição de efluentes.

Tabela 2- Dados descritivos dos pontos da calha do rio madeira em mg/kg, com n = 7.

	Mdcp		
	Média	Máximo	Mínimo
Pb	15,280	22,058	8,634
Zn	58,535	112,478	39,072
Cr	9,162	13,186	3,623
Cu	19,229	24,627	13,057
Co	11,872	14,909	9,664
Ni	19,780	31,880	12,415
	Md01		
	Média	Máximo	Mínimo
Pb	16,456	21,795	11,139
Zn	57,992	103,344	18,337
Cr	9,396	14,017	2,745
Cu	17,524	21,273	13,701
Co	11,432	13,692	9,793
Ni	19,997	25,591	11,707
	Md02		
	Média	Máximo	Mínimo
Pb	16,816	22,600	12,678
Zn	54,753	103,344	18,337
Cr	9,919	14,017	3,270
Cu	17,403	25,649	13,701
Co	12,473	17,909	11,010
Ni	20,681	32,514	10,114
	Md03		
	Média	Máx.	Mínimo
Pb	12,086	19,032	6,760
Zn	54,640	113,102	30,044
Cr	7,557	12,209	2,579
Cu	12,685	16,322	9,962
Co	9,423	11,014	7,056
Ni	15,834	20,433	7,791
	Md04		
	Média	Máximo	Mínimo
Pb	15,012	22,939	9,495
Zn	65,094	117,761	43,778
Cr	7,761	12,242	3,208
Cu	14,795	19,960	9,940
Co	11,094	13,482	8,813
Ni	17,881	22,256	8,671

Contudo, a concentração de níquel presente nessa região, pode estar relacionada a processos de intemperismo das rochas, já que não se tem informações sobre atividades de fusão e refino desse metal nessa região.

Os gráficos da Figura 2 ilustram o grau de oscilação na concentração desses dois elementos (Zn e Ni), com média e desvio padrão a partir dos dados obtidos nas 7 campanhas de coletas, as concentrações médias na maioria dos locais de coleta apresentaram valores próximos, com exceção do ponto amostral Md03, onde pode ser verificada uma leve diminuição na concentração de Ni.

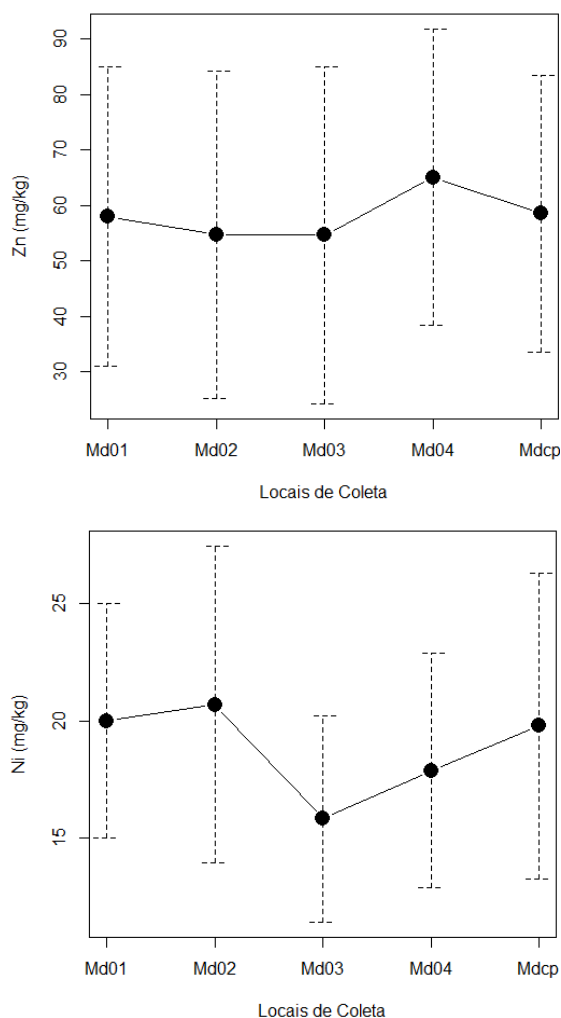


Figura 2- Variação das concentrações de Zn e Ni nos sedimentos de fundo coletados no rio Madeira, com média e desvio padrão, n = 7.

Quanto ao Pb em média esse elemento foi encontrado em maiores concentrações à montante,

no ponto Md01, e em menor no ponto Md03, mesmo comportamento observado para Zn e Ni nesse ponto. As concentrações de Cu mais elevadas também foram encontradas à montante, no ponto Mdcp, assim como o Pb, Zn e Ni, esse elemento foi encontrado em menores níveis estação de coleta MD03.

As oscilações nas concentrações desses dois metais são ilustradas no gráfico da Figura 3, observa-se que não houve diferenças acentuadas em relação às concentrações de Cu e Pb nos pontos de coleta Md01, Md02 e Mdcp que ficam à montante da hidrelétrica, enquanto que, os pontos localizados à jusante da mesma, Md03 e Md04, apresentaram níveis de concentração abaixo dos observados nesses pontos.

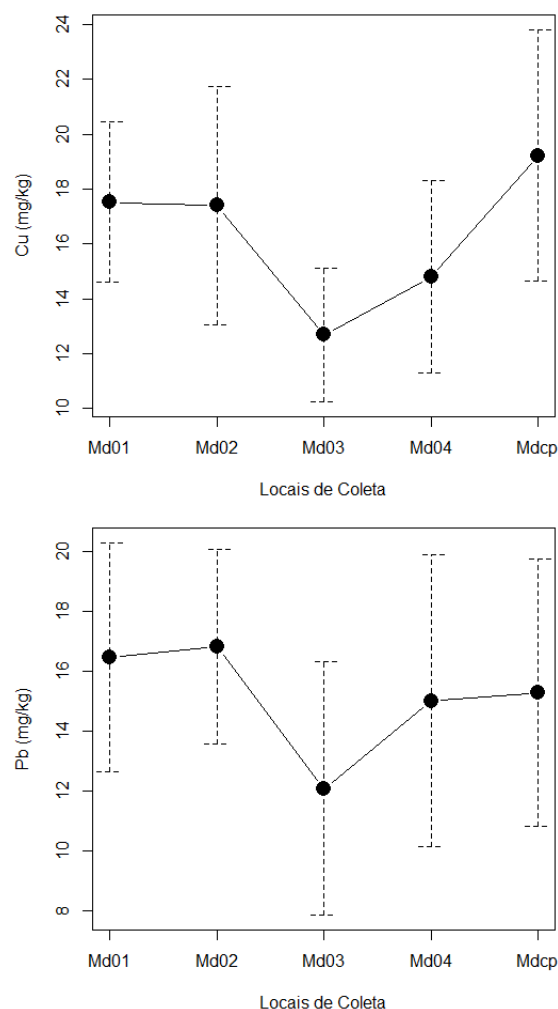


Figura 3- Variação das concentrações de Cu e Pb nos sedimentos de fundo coletados no rio Madeira, com média e desvio padrão, n = 7.

Quanto ao Co e Cr, os gráficos da Figura 4 ilustram os níveis de oscilação da concentração

dessas espécies em cada ponto amostral da calha do rio Madeira. Em relação ao Co, em média seus maiores níveis de concentração foram medidos nas proximidades da barragem no ponto amostral Md02 e os menores no ponto Md03. Quanto ao Cr, em média esse foi o elemento encontrado em menores concentrações, nos pontos de coleta Md03 e Md04 ele foi encontrado em seus menores níveis de concentração, apresentando-se mais abundante no ponto de coleta Md02.

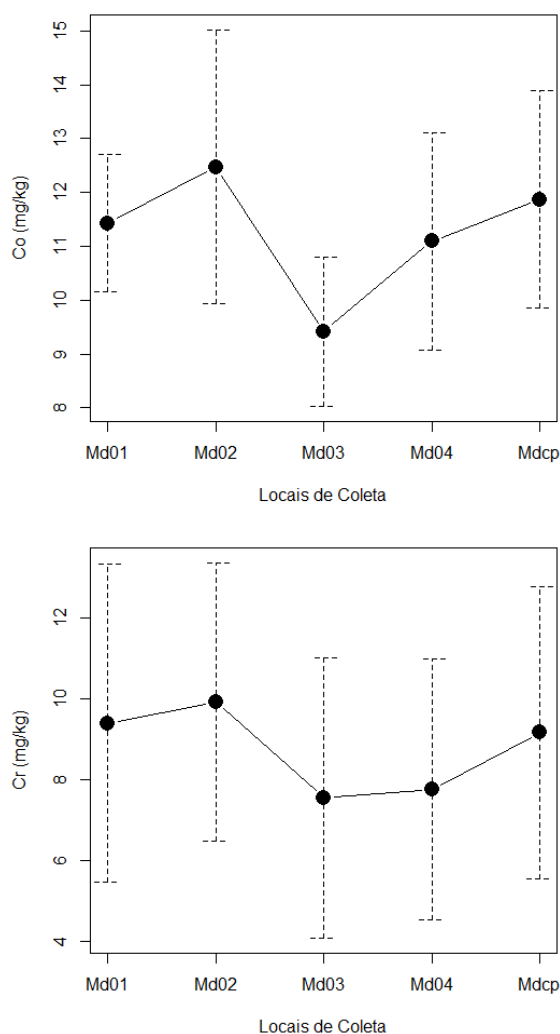


Figura 4- Variação das concentrações de Co e Cr nos sedimentos de fundo coletados no rio Madeira, com média e desvio padrão, n = 7.

As concentrações médias dos metais apresentaram-se na seguinte ordem decrescente Zn>Ni>Cu>Pb>Co>Cr, esse mesmo padrão de comportamento para Zn, Cu e Co pode ser verificado no estudo de Queiroz *et al.* (2011) em

sedimentos de fundo do baixo Madeira, onde os níveis de concentração obedeceram essa mesma ordem. Cabe ressaltar que, as concentrações encontradas para esses elementos sugerem que os mesmos sejam de origem natural, mas segundo Cotta *et al.* (2006), a acumulação e biodisponibilidade de metais nos sedimentos de rios e lagos, pode ser afetada pelas condições ambientais. Para este autor, uma vez sedimentados os metais, estes podem ser novamente disponibilizados para a coluna d'água, devido a reações de oxi-redução, ou a processos de re-suspensão de origem física (correnteza), biológica (atividade dos organismos que vivem nos sedimentos) e humana (dragagem e navegação). Em outro estudo realizado por Bonoto e Silveira (2003), as concentrações dos metais nos sedimentos de fundo na bacia do rio Madeira foram mais elevadas. Entretanto, no trabalho desses autores foi utilizado o método de extração total dos metais, o que demonstra que na componente cristalina dos sedimentos existe uma maior concentração dos metais não disponíveis.

Entre os pontos de coleta, foi observado que não houve diferenças acentuadas em relação às concentrações dos metais, porém os valores encontrados nos pontos Md01, Md02 e Mdcp localizados à montante da barragem em média mantiveram-se levemente acima daqueles encontrados nos pontos Md03 e Md04 situados à jusante da barragem. Para os metais Cu e Pb percebe-se um aumento gradativo das concentrações entre os pontos Md03, Md04, Mdcp. Na estação de coleta Md01 foram observadas as maiores concentrações de Ni e Cr, o ponto Md02 apresentou as maiores concentrações de Pb e Co. As menores concentrações dos metais foram medidas na estação de coleta Md03, cabe ressaltar que, este ponto está localizado próximo à barragem da UHE Santo Antônio.

3.2 Tributários

Os valores de média, mínimo e máximo para cada um dos tributários são mostrados na Tabela 3. Em média os metais que apresentaram as maiores concentrações foram o Zn e Pb. Por outro lado, os que apresentaram as menores foram Cr e Co.

Assim como foi observado no rio Madeira, dentre todos os metais avaliados nos tributários, o Zn foi o que apresentou os níveis mais elevados. Sua maior concentração foi de $62,22 \pm 28,98$

mg/kg na ponto de coleta Jat I 01 (rio Jatuarana), enquanto que, a menor foi $4,77 \pm 0,52$ mg/kg no Cp01 (rio Caripunas). Em média os tributários Blm (igarapé Belamont), Cp01, Jat I 01 (rio Jatuarana) e Jat II 01 (igarapé Jatuarana) apresentaram as concentrações mais elevadas

desse elemento, nesses locais os teores de Zn estão na mesma faixa encontrada no rio Madeira, com concentrações em torno de 60 mg/kg. Por outro lado, nos tributários Cp02, Ct01, J01 e J02 as concentrações médias ficaram abaixo desses níveis.

Tabela 3- Dados descritivos dos pontos nos tributários em mg/kg, com n = 7, onde Máx é o maior valor de concentração medido e Mín o menor valor de concentração medido

Locais de Coleta		Pb	Zn	Cr	Cu	Co	Ni
Blm	Média	16,9	62,17	8,94	16,21	10,71	18,48
	Máx.	19,91	111,61	12,51	20,44	13,68	26,27
	Mín.	14,13	38,84	3,28	10,69	8,15	8,89
Cp01	Média	11,42	45,06	4,97	8,45	5,99	6,88
	Máx.	16,35	73,3	5,98	16,78	12,99	9,83
	Mín.	1,68	9,99	3,12	4,17	2,13	5,08
Cp02	Média	7,67	4,77	2,43	1,85	0,7	1,24
	Máx.	12,48	5,14	2,85	1,99	0,87	2,42
	Mín.	2,86	4,41	2,01	1,71	0,53	0,08
Ct01	Média	10,86	27,69	6,62	6,32	3,04	3,14
	Máx.	18,46	113,76	14,27	13,54	6,16	5,96
	Mín.	3,78	6,15	2,01	2,28	1,17	0,14
J01	Média	16,33	33,09	6,62	8,32	6,27	6,66
	Máx.	18,47	104,89	11,01	17,03	9,92	12,51
	Mín.	13,672	13,54	2,23	3,94	2,46	0,51
J02	Média	15,46	39,73	6,02	7,66	2,4	4,3
	Máx.	21,32	124,8	9,71	16,82	3,16	7,25
	Mín.	2,99	16,22	3,16	0,95	1,65	1,79
Jat I 01	Média	15,3	62,22	9,87	13,91	8,29	15,72
	Máx.	25,24	104,81	13,11	23,56	13,32	25,94
	Mín.	5,09	8,6	6,25	5,01	2,61	4,36
Jat II 01	Média	13,66	50,78	6,72	11,13	7,87	14,39
	Máx.	16,62	104,71	11,63	14,84	10,64	19,79
	Mín.	5,71	7,74	1,41	4,52	4,04	2,42
Rbr01	Média	12,35	37,98	7,47	8,41	6,77	3,47
	Máx.	19,67	88,66	11,72	17,07	11,69	5,23
	Mín.	2,26	18,64	3,22	4,69	2,6	1,71

Em relação aos níveis de Pb em média no igarapé Belmont (Blm) foram encontradas as

concentrações mais elevadas, enquanto que a estação de coleta Cp02 (rio Caripunas) foi o local



com menores concentrações desse metal. Assim como foi observado no rio Madeira, é possível observar que as concentrações médias de Pb se mantiveram próximas à 15 mg/kg, a exceção foi o ponto amostral Cp02 no rio Caripunas em que os níveis desse elemento ficaram abaixo do encontrado nos demais locais de coleta.

As maiores concentrações de Ni foram medidas nos Tributários Belmont (Blm), igarapé Jatuarana (Jat II 01), rio Jatuarana (Jat I 01), enquanto as menores concentrações foram verificadas nos rios Caripunas (Cp01 e Cp02), rio Contra (Ct01) e rio Branco (Rbr01) e, a concentração média desse elemento em todos esses pontos amostrais permaneceu abaixo do que foi encontrada no rio Madeira.

Assim como os demais metais, o Cu apresentou em média maior concentração na estação de coleta do Blm e a menor concentração na estação Cp02. As concentrações médias medidas nos pontos amostrais dos tributários Blm, Jat I 01 e Jat II 01 encontram-se dentro da faixa medida no rio Madeira, enquanto que, nos demais as concentrações ficaram abaixo, com destaque para o ponto amostral Cp02 onde foram encontrados os menores níveis.

Quanto ao Cr, as maiores concentrações foram observadas nos igarapés Belmont (Blm) e Jatuarana (Jat II 01), enquanto as menores foram medidas no rio Caripunas.

As concentrações médias dos pontos Blm e Jat II 01 encontram-se nos mesmos níveis das encontradas na maioria dos pontos do rio Madeira, enquanto, as concentrações nos pontos amostrais dos demais tributários apresentaram médias abaixo desses valores, sendo que, as concentrações médias obtidas nos pontos Ct01, J01, J02, Jat II 01 e Rbr01 permaneceram muito próximas entre si, com valores em torno de 6 mg/kg.

Quanto ao Co, os maiores níveis foram observados novamente no igarapé Belmont, igarapé Jatuarana e rio Jatuarana, no ponto Cp02 no rio Caripunas foi o ponto que apresentou em média as menores concentrações desse metal. Assim como o Cr, as concentrações médias de Co na maioria dos locais de coleta mantiveram-se abaixo dos valores medidos no rio Madeira, novamente as exceções foram Blm e Jat I 01. Para todos os elementos esses foram os pontos que apresentaram as concentrações médias dentro das faixas encontradas no rio Madeira. Esse fato pode estar relacionado com o enchimento da barragem,

uma vez que, os Igarapés Belmont e Jatuarana foram os que mais sofreram influências do Madeira, após a construção da barragem as águas do Madeira invadiram esses igarapés. Além disso, esses tributários foram os que apresentaram os níveis mais elevados para a maioria dos metais. Esses ambientes encontram-se próximos à área urbana de Porto Velho, o igarapé Belmont, por exemplo, recebe toda a rede hídrica da cidade, além da ocupação desordenada e utilização do solo para atividades agropecuárias. Segundo Ramalho *et. al.* (2000), a utilização de agrotóxicos tem elevado os níveis de metais pesados nos solos e, conseqüentemente nos sedimentos, uma vez que, os metais pesados fazem parte dos componentes ativos de vários agrotóxicos, em forma de sais de Zn e arsenatos de Pb e Cu.

As variações de concentrações dos metais entre o rio Madeira e seus tributários também pode ser explicada pela granulometria dos sedimentos, assim como pela geomorfologia dos ambientes. Diferente de seus tributários, o rio Madeira sofre grande influência da deposição de material particulado carregado dos Andes. Segundo, Guyot *et. al.* (1999), o transporte de material em suspensão é um veículo de transporte e dispersão de poluentes orgânicos e inorgânicos, a exemplo os metais pesados adsorvidos às partículas em suspensão e, posteriormente depositados nos sedimentos de fundo.

Na estação de coleta localizada no rio Caripunas (Cp02) foram localizados os menores níveis de concentração para praticamente todos os metais. Este rio está distante de áreas sob influências de atividade humana, pois essa região permanece com sua vegetação praticamente inalterada. Além do mais, este rio sofreu pouca da alagação causada pelo enchimento do reservatório da usina.

Ao se comparar as concentrações dos metais pesados encontradas, tanto no rio Madeira quanto nos Tributários com os valores estabelecidos pela legislação brasileira (Resolução CONAMA 454/12) nenhuma das concentrações dos metais excedeu os valores de referência. Entretanto, avaliar a qualidade do sedimento quanto à presença de substâncias químicas potencialmente tóxicas é complicado. É difícil estabelecer valores de referência, devido à complexidade desse compartimento e por não se saber exatamente os mecanismos que atuam nele. Além disso, diferenças regionais como formação geológica,

clima, profundidade, pH, etc, podem influenciar na decisão dos valores numéricos.

Embora os metais não tenham apresentado concentrações críticas em relação aos padrões estabelecidos pela legislação vigente, por se tratar de um reservatório recente pode ser esperada uma tendência de adsorção de metais em partículas e sua posterior sedimentação, sendo este um processo comum em reservatórios, o que pode contribuir posteriormente, para o aumento nas concentrações dos metais estudados. Dessa forma, é importante salientar a importância do monitoramento dos sedimentos de fundo e de outros compartimentos ambientais nessa região.

3.3 Análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA)

A HCA (Hierarchical Clustering Analysis) foi empregada com o objetivo de verificar a similaridade (ou dissimilaridade) entre os pontos amostrais. Para a aplicação da HCA empregou-se o método de Ward com distância euclidiana, tendo em vista que ambos apresentaram os melhores resultados na formação dos agrupamentos.

No dendograma da Figura 5 com um corte na altura de 50 é possível observar duas zonas amostrais, a primeira formada pelos pontos do Madeira e pelos pontos dos Tributários BIm, Jat I0 1 e Jat II 01. A segunda zona amostral é formada pelos pontos Cp01, Cp02, Ct01, Rbr01, J01, J02 e Rbr01, todos localizados à montante do eixo da barragem.

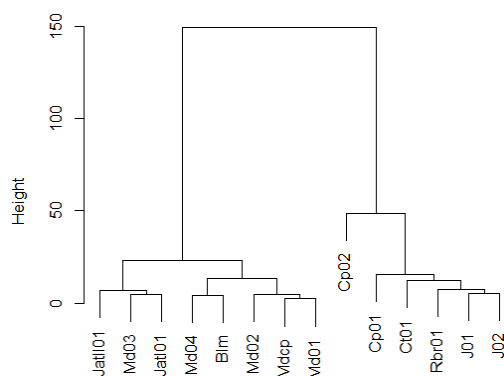


Figura 5- Dendograma de análise de cluster entre os pontos amostrais de sedimento de fundo no rio Madeira e seus tributários.

A partir das concentrações dos metais foi obtida uma classificação espacial dos pontos amostrais, com exceção do ponto amostral do rio Jatuarana (JatI01), os tributários localizados à montante da barragem formaram um agrupamento distinto dos demais que estão situados mais à

jusante, que por sua vez, apresentaram forte similaridade com os pontos ao longo rio Madeira. Essa forte similaridade dos pontos no rio Jatuarana (Jat I01) e Igarapé Jatuarana (Jat II01) e Belmont (BIm) com os pontos amostrais ao longo do rio Madeira evidenciam que possivelmente dentre os tributários, estes sejam os mais influenciados pela sedimentação do rio Madeira, bem como pelo alagamento causado pelo recente enchimento do reservatório da usina hidrelétrica.

4. Conclusão

Considerando as condições de amostragem e dinâmica de deposição de sedimentos no rio Madeira, as concentrações dos metais seguiram a seguinte ordem Zn>Ni>Cu>Pb>Co>Cr e nos Tributários a ordem foi a seguinte Zn>Pb>Cu>Ni>Co>Cr.

A partir das análises por estatística multivariada foi possível observar padrões de similaridade entre os pontos de coleta no rio Madeira e alguns tributários. Assim, as análises por HCA apontaram similaridades entre os pontos do Madeira e os Igarapés Belmont e Jatuarana, além do rio Jatuarana, gerando uma classificação espacial dos pontos amostrais com base na concentração dos metais. Além de evidenciar possíveis alterações em decorrência do alagamento dessas áreas causado com o enchimento do reservatório da usina hidrelétrica.

Contudo, no rio Madeira ainda não se pode afirmar que ocorreram grandes mudanças em relação aos níveis de metais pesados, o que possivelmente possa ocorrer futuramente, tendo em vista que a construção dos reservatórios para geração de eletricidade ainda é recente.

Agradecimentos

A CAPES pelo apoio financeiro oferecido ao primeiro autor, ao CNPq e à equipe do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da UNIR.

Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. O(s) autor(es) e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.



Referências

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

BASTOS, W. R.; LACERDA, L. D. Mercúrio na Bacia de drenagem do Rio Madeira, Rondônia. **Geochimica Brasiliensis**, v.18, p.99-114, 2004.

BASTOS, W. R. *et al.* Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 368, p. 344-351, 2005.

BERNARDI, J. V. E. *et al.* Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio madeira e afluentes, amazônia ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, n. 1, p. 79-90, 2009.

BONOTTO, D.M.; SILVEIRA, E. G. Preference ratios for mercury and other chemical elements in the Madeira River, Brazil. **Journal of South America Earth Sciences**, v. 15, p. 911-923, 2003.

CAMPOS, M. L. *et al.* Baseline Concentration of Heavy Metals in Brazilian Latosols. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, p. 547-557, 2003.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O. O.; PIOVANI, M. R. Avaliação do teor de metais em sedimento do rio betari no parque estadual turístico do alto Ribeira Petar, São Paulo, Brasil. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 40-45, 2006.

CONAMA. Resolução n. 344, de 25 de março de 2004. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 87, p. 56-57, 07 mai. 2004.

GOMES, J. P. O. *et al.* Geoquímica de elementos-traço em sólidos em suspensão no alto rio madeira, Rondônia, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, n. 1, p. 49-66, 2009.

GOMES, J. P. O. *et al.* Distribuição espacial das concentrações de mercúrio em Sólidos em suspensão no Alto Rio Madeira, Rondônia. **J. Braz. Soc. Ecotoxicol**, v. 1, n. 2, 131-135, 2006. doi:%10.5132/jbse.2006.02.008

GUYOT, J. L.; JOUANNEAU, J. M.; WASSON, J. G. Characterisation of river bed and suspended sediments in the Rio Madeira drainage basin (Bolivian Amazonia). **Journal of South America Earth Science**, v. 12, p. 401-410, 1999.

LECHLER, P. J. *et al.* Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? **The Science of the total environment**, v. 260, n. 1-3, p. 87-96, 2000.

LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER, C.E.G.R. & KER, J.C. 2005. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. **Acta Amazônica**, v.35, n.3, p. 317-330, 2005.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 21, n. 4, p. 467-469, 1998.

PFEIFFER, W.C.; LACERDA, L. D. Mercury inputs to the Amazon region, Brazil. **Environment Technology**, v. 9, p. 325-350, 1988.

QUEIROZ, M. M. A.; HORBE, A. M. C.; MOURA, C. A. V. Mineralogia e química dos sedimentos de fundo do médio e baixo Madeira e de seus principais tributários: Amazonas - Brasil. **Acta Amazônica**, v. 41, p. 465-470, 2011.

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

SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. D. S. R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus - (AM). **Acta Amazônica**, v. 37, p. 111-118, 2007.