

Distribuição espacial de metais potencialmente tóxicos em água superficial nas bacias dos rios Cuiabá e São Lourenço – MT

Spatial distribution of potentially toxic metals in surface water in the Cuiabá and São Lourenço watersheds, Mato Grosso

Paulo Eduardo Reinach da Silva Gonçalves¹, Adriana Paiva de Oliveira², Ibraim Fantin da Cruz³,
Peter Zeilhofer⁴ e Eliana Freire Gaspar de Carvalho Dores⁵

¹Universidade Federal de Mato Grosso
Paulo_reinach@hotmail.com

²Instituto Federal de Educação de Mato Grosso - Campus de Bela Vista
Adriana.oliveira@blv.ifmt.edu.br

³Universidade Federal de Mato Grosso - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
ibraimfantin@gmail.com

⁴Universidade Federal de Mato Grosso - Departamento de Geografia
peterzeilhofer@gmx.net

⁵Universidade Federal de Mato Grosso - Departamento de Química
elidores@uol.com.br

Recebido: 27/03/14 - Revisado: 01/06/14 - Aceito: 08/09/14

RESUMO

As bacias do rio Cuiabá e São Lourenço são de grande relevância, pois suas águas são empregadas para usos múltiplos, além de abrangerem as principais cidades de Mato Grosso e serem afluentes do rio Paraguai, o principal rio formador do Pantanal. A contaminação dos recursos hídricos por metais potencialmente tóxicos está ligada a atividades antrópicas e naturais. Uma vez no ecossistema aquático, os metais acumulam-se podendo causar efeitos adversos para o ambiente e para a saúde humana. Assim, neste trabalho foi avaliada a distribuição espacial da concentração de alguns metais, como cobre (Cu), cromo (Cr), cádmio (Cd), manganês (Mn), ferro (Fe), chumbo (Pb) e zinco (Zn) em águas superficiais das bacias acima referidas. Os metais nas amostras de água foram determinados por espectrometria de absorção atômica em chama e por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado. Para avaliar o padrão de distribuição dos metais foi aplicada a análise de agrupamento hierárquica que revelou o agrupamento dos quinze pontos de coleta em quatro grupos, que têm relação com o uso e ocupação das bacias. A maior parte das concentrações dos metais ficou abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA n. 357/2005. Porém atenção deve ser dada em alguns trechos das bacias, onde as concentrações de Pb e Cr foram superiores ao estabelecido pela legislação, possivelmente proveniente de atividades antrópicas, como descartes de efluentes domésticos e industriais.

Palavras Chave: Contaminação ambiental. Uso do solo. Pantanal

ABSTRACT

The Cuiabá and São Lourenço rivers watersheds are very important since their waters are utilized for multiple uses. Moreover these rivers pass the main cities of Mato Grosso and are tributaries of the Paraguay, which is the main river forming the Pantanal. Water resources contamination by potentially toxic metals is related to anthropogenic and natural causes. Once these metals are in the water ecosystem, they may accumulate with adverse effects on the environment and human health. Thus, this study evaluates the spatial distribution of copper (Cu), chromium (Cr), cadmium (Cd), manganese (Mn), iron (Fe), lead (Pb) and zinc (Zn) concentrations in surface waters of the above mentioned watersheds. Metal concentrations were determined by flame atomic absorption spectrometry and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. A hierarchical cluster analysis was carried out to evaluate the spatial distribution pattern of metal concentration. The fifteen sampling points were classified in four groups, which are related to land use in the watersheds. The majority of metal concentrations were below the limits established by the Brazilian National Environmental Council (CONAMA n. 357/2005). However, especial attention should be given to Pb and Cr that were detected at concentrations above these limits in water in some sampling points, probably related to anthropogenic origins such as domestic and industrial effluent discharge.

Keywords: Environmental contamination. Soil usage. Pantanal

INTRODUÇÃO

A qualidade das águas dos recursos hídricos é de fundamental importância para o desenvolvimento econômico e social de um país, uma vez que muitas atividades (agrícolas, industriais, saneamento, geração de energia, entre outras) dependem desse recurso diretamente (LOPES, 2010). O uso e ocupação do solo e o uso excessivo e inadequado dos recursos hídricos, contribuem para a poluição destes (MORAES; JORDÃO, 2002). Uma das principais fontes de poluição em ambientes aquáticos consiste nos lançamentos de produtos químicos utilizados na agricultura e de efluentes, particularmente, de esgotos domésticos e industriais. Muitas vezes esses efluentes são lançados sem nenhum tipo de tratamento adequado (ARAÚJO et al., 2007).

Em todos os ambientes aquáticos, antropizados ou não, são encontrados traços de metais, que são essenciais para o metabolismo dos organismos, participando de processos fisiológicos, como é o caso da fotossíntese, cadeia respiratória e fixação de nitrogênio. Por outro lado, metais que não têm função biológica conhecida atuam negativamente, sendo quase sempre tóxicos para alguns organismos. Mesmo aqueles que são considerados essenciais, podem apresentar toxicidade a determinados organismos, quando em condições apropriadas para tal, como concentração e forma química (ESTEVES, 1998).

Os metais potencialmente tóxicos agravam não somente a qualidade da água, mas também a do solo, dos sedimentos de fundo e dos vegetais ribeirinhos. A tendência dos metais é de se adsorverem aos sólidos em suspensão que por sua vez, sedimentam-se no fundo do corpo d'água, formando um manto de sedimentos, que funciona como um dreno destes elementos. Entretanto os metais podem voltar para a solução entre os poros dos sedimentos ou mesmo voltar para a lâmina de água (WARREN; HAACK, 2001).

A preocupação com a contaminação de ambientes aquáticos aumenta, principalmente, quando a água é usada para o consumo humano (DORES; DE-LAMONICA-FREIRE, 2001) e outros alimentos destes retirados, como peixes (WARREN; HAACK, 2001) e plantas aquáticas.

Por todos os motivos citados é importante realizar a gestão dos recursos hídricos, que tem por objetivo fazer o controle ambiental, de forma a impedir que problemas decorrentes da poluição da água venham a comprometer seu aproveitamento múltiplo e integrado, e de forma a colaborar para a minimização dos impactos negativos ao meio ambiente (BRAGA; PORTO; TUCCI, 1999 apud REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2002).

As bacias dos rios Cuiabá e São Lourenço são de extrema importância por serem estes rios formadores da bacia do Alto Paraguai, serem responsáveis por 46% das fontes de captação de água para consumo doméstico do Estado e por banharem a planície Pantaneira, uma das áreas referências em biodiversidade no mundo (SEMA, 2006). Nesse contexto, este estudo teve por objetivo avaliar a distribuição espacial da concentração de metais em águas superficiais na bacia dos rios Cuiabá e São Lourenço, no período de um ano, identificando deste modo os pontos críticos da bacia. A bacia dos rios Cuiabá e São Lourenço apresenta características muito diversas devido às suas nascentes ocorrerem no planalto e o exutório na planície.

Assim, este estudo pretendeu avaliar, em escala de bacias, se a ocorrência de metais potencialmente tóxicos na água, pode ser atribuída a diferentes fontes de poluição.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica dos rios Cuiabá e São Lourenço, que são tributários do rio Paraguai na parte superior do seu curso, e por isso é considerada sub-bacia do rio Paraguai. Os rios Cuiabá e São Lourenço se encontram pouco antes de desembocarem no rio Paraguai, sendo o rio São Lourenço considerado afluente do rio Cuiabá. Assim, para efeito do presente trabalho, o termo bacia hidrográfica do rio Cuiabá se referirá à bacia composta pelos dois rios.

A bacia hidrográfica do rio Cuiabá está localizada entre as coordenadas geográficas 14°18' e 17°00' de latitude Sul e 54°40' e 56°55' de longitude Oeste (FEMA, 2002), na região Centro-Oeste, englobando parte de Mato Grosso e uma pequena porção do norte de Mato Grosso do Sul segundo a Agência Nacional das Águas (ANA). A bacia engloba 30 municípios, sendo 26 em Mato Grosso e 4 em Mato Grosso do Sul. Entre eles inclui-se a capital do Mato Grosso, Cuiabá e a cidade de Várzea Grande, ambas somando uma população equivalente a cerca de 70% da população total da Bacia.

Com 919 km de extensão o rio Cuiabá nasce no município de Rosário do Oeste, nas encostas da Serra Azul, tendo como principais formadores os rios Cuiabá da Larga e Cuiabá do Bonito, sendo o primeiro considerado a nascente principal, por ser o mais extenso. Após a confluência desses rios, recebe o nome de Cuiabazinho e, somente após o encontro com o rio Manso, recebe a denominação de rio Cuiabá (ANA, 2003; FEMA, 1995).

O rio São Lourenço nasce no município de Campo Verde e deságua no Pantanal Mato-grossense. A sua área de drenagem possui principalmente áreas de pastagem, de lavoura de cana de açúcar, soja, algodão, e outras formas de produção agrícola (FAMATO, 2008). Segundo Checoli (2012), a cabeceira do rio São Lourenço é denominada localmente como córrego dos Compadres e está localizada em uma área de agricultura intensiva e que vem sofrendo impactos onde as matas ciliares estão sendo degradadas progressivamente.

O rio São Lourenço abrange os municípios de Campo Verde, Dom Aquino, Itiquira, Jaciara, Juscimeira, Pedra Preta, Rondonópolis e São José do Povo (microrregiões de Rondonópolis) e parte dos municípios de Guiratinga, Poxoréu e Alto Garças (FEMA, 1995). O principal afluente do rio São Lourenço é o rio Vermelho que tem a sua nascente em Poxoréu. O rio Vermelho passa pelo município de Rondonópolis, que é um dos mais populosos e industrializados de Mato Grosso. As características de planalto e planície dentro da bacia fazem com que o escoamento proveniente do planalto seja direcionado diretamente para o Pantanal. Assim, as ações produzidas na parte superior da bacia (planalto) podem ocasionar impactos diretos sobre o Pantanal e áreas à jusante. No período de inundação,

o Pantanal retém, em suas depressões, cerca de 50 a 70% do volume de água e sedimentos de montante (SAMPAIO, 2003; SHINMA, 2004).

O principal centro polarizador da bacia é a capital de Mato Grosso, Cuiabá, importante centro comercial, industrial, político e financeiro que exerce influência nas demais cidades do estado. Com os municípios Várzea Grande, Nossa Senhora do Livramento e Santo Antônio do Leverger forma uma região na área centro-sul do Estado, denominada Baixada Cuiabana. Essa região apresenta alta taxa de antropização pelas atividades econômicas, incorpora 40% da produção industrial do Estado e 1/3 da população mato-grossense. Destaca-se nessa região o desenvolvimento da pecuária extensiva, a produção de banana nos municípios da baixada Cuiabana e de soja, de algodão, de arroz, de feijão edemilho, nos municípios de Chapada dos Guimarães e Campo Verde (MMA, 2007). Nas proximidades das nascentes da bacia do rio Manso e seus afluentes além da existência de monoculturas ocorrem ainda a exploração de diamante e calcário (LIBOS; ROTUNDO FILHO; ZEILHOFER, 2003).

O sudeste do estado, é caracterizado por um maior dinamismo, cujo pólo é a cidade de Rondonópolis, destacando-se por sua grande produção agrícola, caracterizada pelas modernas técnicas utilizadas e pela grande produtividade. Lavouras de soja, de milho, de algodão, de trigo e de cana-de-açúcar formam a paisagem desta área, que possui uso intenso de água para

irrigação através dos pivôs centrais e apresenta altos índices de desmatamento. Estão presentes importantes agroindústrias que fazem o beneficiamento de parte de sua produção, destacando a cidade de Jaciara como um dos grandes produtores de cana-de-açúcar do Estado possuindo, inclusive uma usina de produção de açúcar e de etanol (MMA, 2007). O Pantanal tem sido utilizado principalmente para criação extensiva de gado (SHINMA, 2004).

Amostragem

Os pontos de coleta indicados na figura 1 foram escolhidos em função principalmente do uso e ocupação do solo, ou seja, da localização de atividades que possam influenciar na qualidade da água e da natureza das cargas poluidoras, tais como despejos industriais, esgotos domésticos, águas de drenagem agrícola ou urbana. Além disso, foram selecionados pontos em áreas de planalto, curso médio e planície.

Foram escolhidos quinze pontos para a coleta de amostras de águas superficiais, sendo a coleta realizada mensalmente no período de agosto de 2011 a julho de 2012. Cada ponto de coleta possui um código, onde a parte alfabética da sigla (CBA e SLO, por exemplo) refere-se à sub-bacia (Cuiabá e São Lourenço respectivamente, neste exemplo) (Tabela 1).

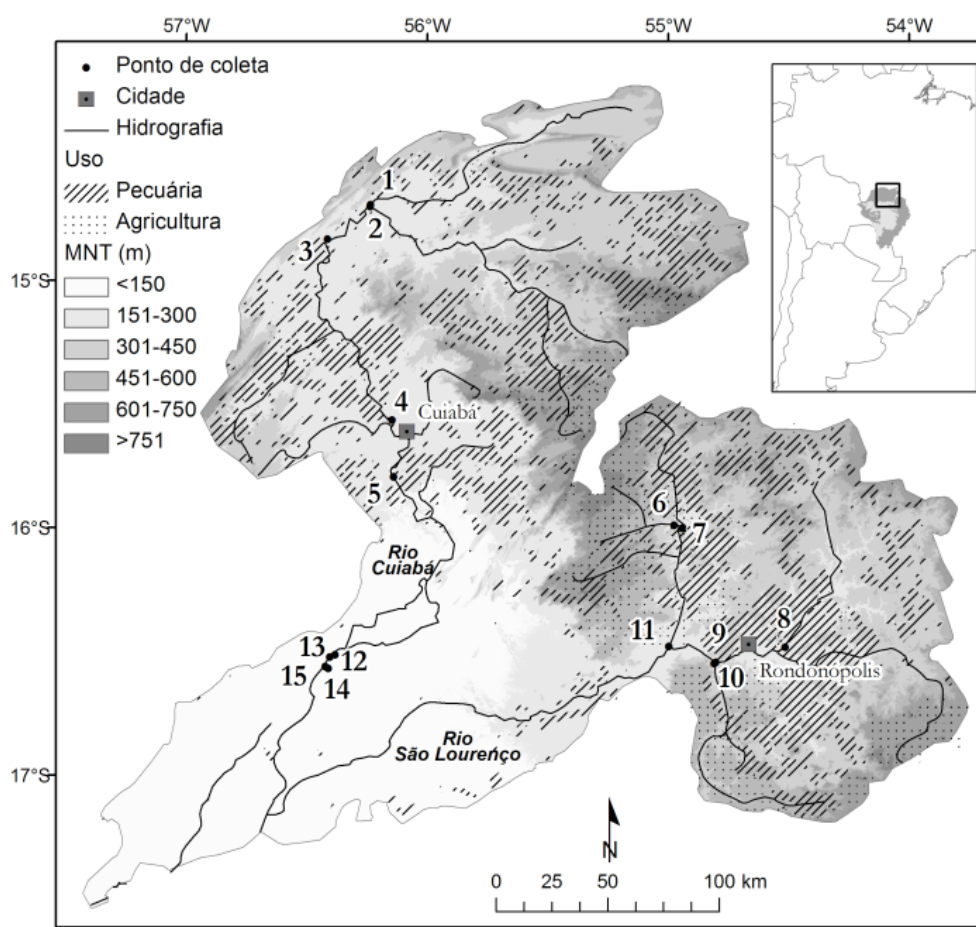


Figura 1 - Área da bacia do rio Cuiabá e São Lourenço e localização dos pontos de amostragem, que estão numerados de 1 a 15

Tabela 1 - Pontos de amostragem e suas coordenadas geográficas

Ponto	Manancial	Posição na bacia
CBA1	Rio Cuiabazinho	planalto
CBA2	Rio Manso	curso médio
CBA3	Rio Cuiabá (Ponte em Rosário Oeste)	curso médio
CBA4	Rio Cuiabá (Passagem da Conceição)	curso médio
CBA5	Rio Cuiabá (Santo Antônio)	planície
SL6	Rio Tenente Amaral (Jaciara)	planalto
SL7	Rio São Lourenço (São Pedro da Cipa)	planalto
SL8	Rio Vermelho (Montante de Rondonópolis)	planalto
SL9	Rio Vermelho (Jusante de Rondonópolis)	planalto
SL10	Rio Ponte de Pedra (Rondonópolis)	planalto
SL11	Rio São Lourenço (Confluência do rio Vermelho com o rio São Lourenço)	planalto
CBA12	Rio Cuiabá (Porto Cercado- Pantanal)	planície
CBA13	Rio Cuiabá (Corixo Antonio Alves – Pantanal)	planície
CBA14	Rio Cuiabá (Corixo do Moquem – Pantanal)	planície
CBA15	Rio Cuiabá (Corixão – Pantanal)	planície

Para garantir a representatividade foi realizada coleta de amostra composta de água superficial em cada ponto de amostragem, formada por amostras retiradas próximo das margens do rio e do meio do rio, sempre em triplicata. Para isso foram utilizados três baldes para guardar e homogeneizar o volume de água coletado transferindo as amostras homogeneizadas para frascos de polietileno de 500 mL, no qual, foi feito o ajuste do pH com adição de ácido nítrico concentrado até pH menor do que 2,0 (*in situ*) para posterior análise de metais. Antes da coleta, cada balde foi enxaguado exaustivamente com água do corpo d'água. Todo material utilizado para a coleta das amostras de água superficial foi ambientado com a própria amostra no momento da coleta. As amostras de água foram transportadas em caixas térmicas sob gelo para o Laboratório de Análises de Contaminantes Inorgânicos onde foram armazenadas a 4°C até o momento das análises.

Determinação das variáveis físicas e químicas

Na ocasião das coletas, foram realizadas com uma sonda multiparamétrica HACH 40D, determinações da condutividade elétrica da água, temperatura da água, oxigênio

dissolvido e pH. A leitura de cada um desses parâmetros foi realizada em triplicata para cada ponto de amostragem. Para a determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), foi realizada em campo, a medição do oxigênio dissolvido (OD) inicial das amostras coletadas usando a sonda multiparamétrica. Após as leituras do OD inicial, foram coletadas amostras de água em frascos reagente âmbar com rolha de vidro e levadas ao laboratório onde foram mantidas em uma câmara de incubação a 20°C por 5 dias para uma nova leitura. Transcorridos os cinco dias de incubação repetiu-se no laboratório o mesmo procedimento de determinação de OD nos frascos coletados sendo o valor da DBO obtido como o resultado da subtração do OD inicial do OD final.

Determinação da concentração dos metais potencialmente tóxicos

As amostras de água foram previamente digeridas usando a digestão ácida com ácido nítrico e sulfúrico de acordo com o método 3030G descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). A concentração total dos metais (Cu, Fe, Mn, Zn, Cr, Cd e Pb) nas amostras de agosto/11 a outubro/11 foi determinada por espectrometria de absorção atômica em chama (FAAS) modelo-Spectra AA-220 da Varian® e nas amostras de novembro/11 a julho/12 por espectrometria de emissão atômica ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) com nebulizador tipo “seaspray”, modelo 720 da Agilent®.

Condições operacionais dos espectrômetros

As condições de operação variaram para cada metal estudado. As condições ótimas para determinação multielementar foram estabelecidas conforme recomendações do fabricante. Para a determinação dos metais no FAAS, utilizou-se chama ar-acetileno com fluxo de 3,5 e 1,5 L min⁻¹ respectivamente e taxa de aspiração da amostra entre 2,0 e 2,5 mL min⁻¹. Para cada amostra, foram feitas três leituras, calculadas as médias utilizando o método de padrão externo para a quantificação dos metais. As condições experimentais para a determinação dos metais por espectrômetro de absorção atômica em chama estão apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Condições experimentais do espectrômetro de absorção atômica para a determinação da concentração dos metais em amostras de água

Metal	Comprimento de onda (nm)	Corrente da lâmpada (mA)	Largura da fenda (nm)	Faixa de calibração (mg L ⁻¹)
Cu	324,7	5,0	0,5	0,05 - 5,0
Fe	248,3	5,0	0,2	0,1 - 10,0
Mn	279,5	10,0	0,2	0,05 - 3,0
Zn	213,0	15,0	1,0	0,05 - 2,0
Cr	357,9	15,0	0,2	0,06 - 5,0
Cd	228,8	4,0	0,5	0,05 - 3,0
Pb	217,0	10,0	1,0	0,1 - 5,0

As escolhas dos valores de concentração da curva analítica foram realizadas com base no prévio conhecimento dos limites de quantificação e no valor máximo permitido pela resolução do CONAMA n. 357 para rios de Classe II (BRASIL, 2005).

O espectrômetro de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente foi operado em: potência de radiofrequência de 1,10kW, fluxo de argônio do plasma de 15,0 L min⁻¹ e pressão do nebulizador de 200 kPa. As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Contaminantes Inorgânicos (LACI) do departamento de química da UFMT (Universidade Federal de Mato Grosso) e no Laboratório de Estudos Ambientais da UNESP (Universidade Estadual Paulista) Campus de Sorocaba-SP.

A determinação do limite de detecção e quantificação de cada metal foi realizada através das leituras do padrão de menor concentração alternadas com as leituras das amostras, totalizando 10 leituras do padrão de menor concentração. A partir dos resultados, calculou-se o limite de detecção e quantificação de acordo com as Equações 1 e 2 (RIBANI et al., 2004).

$$LD = 3,3 \times \frac{s}{S} \quad (1)$$

$$LQ = 10 \times \frac{s}{S} \quad (2)$$

Sendo:

LD = limite de detecção;

LQ = limite de quantificação;

s = estimativa do desvio padrão da resposta do menor nível de concentração da curva analítica;

S = inclinação (*slope*) ou coeficiente angular da curva analítica.

Na tabela 3 estão apresentados os valores de LD e de LQ para a determinação dos metais nas amostras de água por FAAS e ICP-OES.

Tabela 3 - Limites de detecção e quantificação para a determinação em amostras de água nos AAS e ICP-OES (valores em mg L⁻¹)

Variáveis	AAS		ICP - OES	
	LD	LQ	LD	LQ
Cu	0,006	0,02	0,001	0,003
Cd	0,01	0,03	0,001	0,004
Pb	0,01	0,04	0,013	0,040
Fe	0,01	0,03	0,010	0,035
Cr	0,02	0,05	0,002	0,006
Mn	0,005	0,01	0,002	0,004
Zn	0,006	0,02	0,002	0,005

Análise estatística dos dados

Visando identificar o padrão de distribuição espacial dos resultados das análises bem como as variáveis analisadas que mais contribuem para esse padrão, foi realizada a análise hierárquica de agrupamento (AHA). com base em 12 variáveis (pH, OD, DBO, temperatura d'água, condutividade elétrica,

Cu, Fe, Zn, Pb, Cr, Cd, Fe). A análise foi aplicada utilizando o método *Ward* com distâncias euclidianas como medidas de similaridade. Na determinação do número de grupos foi adotada a medida de mudança de heterogeneidade, por ser uma das regras mais utilizada. O método de Ward com distância euclidiana foi escolhido devido à sua maior capacidade de agrupamento e menor poder de distorção espacial (VEGA et al., 1998), além de ser amplamente utilizado em estudos que apliquem AHA com variáveis de qualidade de água (LIMA et al., 2014).

Após o agrupamento formado pela AHA (análise hierárquica de agrupamento), foi realizada a análise discriminante (AD), com validação a partir do modelo *jackknifed*, para avaliar a porcentagem de acerto na alocação das amostras nos diferentes grupos. A AD pode ser efetuada de dois modos nos quais se varia a maneira como as variáveis são selecionadas para a análise. O modo direto ou padrão "*standard*" onde as variáveis independentes entram na análise ao mesmo tempo. E o modo "*stepwiseforward*" que determina as melhores variáveis discriminantes entre os grupos e foi utilizado para verificar se é possível obter uma mesma classificação, porém com o menor número de variáveis possíveis. A Análise Hierárquica de Agrupamento e a análise discriminante foram realizadas utilizando software estatístico SYSTAT versão 10.2.

Para a realização das análises hierárquica de agrupamento e discriminante, todos os dados foram transformados e padronizados, onde cada valor foi subtraído pela média e dividido pelo desvio padrão de cada variável. Essa padronização se faz necessário uma vez que as variáveis avaliadas apresentam diferentes unidades de medidas.

Para a complementação do agrupamento formado pela AHA, construíram-se gráficos do tipo *Box-Plot* para cada variável avaliada. Pelo *box-plot* é possível observar a dispersão dos valores das variáveis dentro de cada grupo e/ou nos diferentes grupos, a faixa de variação e a existência de dados discrepantes ou *outliers* (valores muito altos ou baixos), que possuem comportamento diferente do apresentado pela maioria das informações (BUSSAB; MORETTIN, 2002), que podem ou não ser excluídos da análise. Para uma melhor visualização dos gráficos *box-plot* optou-se por não apresentá-los *outlier* dos mesmos.

Para interpretar a relação da qualidade da água com o enquadramento estabelecido pela legislação, foram construídos gráficos de curva de probabilidade de inconformidade dos valores das variáveis determinadas em relação aos limites inferiores ou superiores descritos na resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005). Para isto, os dados de cada variável foram ordenados em ordem crescente e para o cálculo da frequência utilizou-se a seguinte equação:

$$F = \frac{i}{N} \cdot 100$$

Nesse caso, "F" representa a probabilidade de que uma variável resulte em um valor inferior ou igual ao limite estabelecido pela legislação. O termo "i", no numerador, refere-se à posição que o dado ocupa dentro da série histórica e "N", no denominador, refere-se ao tamanho da série histórica. Sintetizando, a porcentagem representou a probabilidade de inconformidade com o enquadramento legal, seguindo os mesmos procedimentos

adotados por Cunha e Calijuri (2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise hierárquica de agrupamentos revelou o agrupamento dos pontos em 4 grupos e o dendograma gerado está mostrado na figura 2.

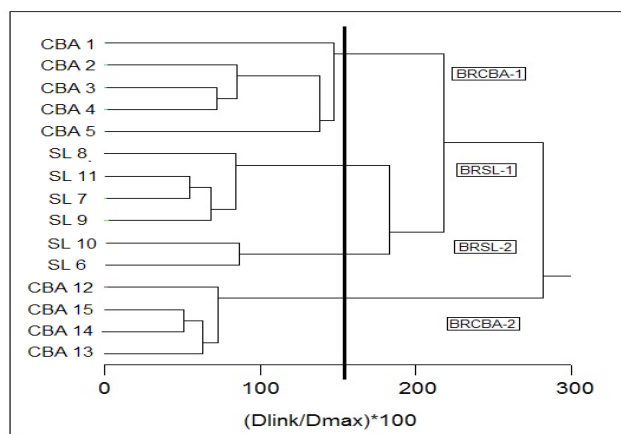


Figura 2 - Dendograma dos pontos de coleta das amostras de água da bacia do rio Cuiabá e São Lourenço com base em 12 variáveis qualidade de água

O primeiro grupo formado recebeu o nome de BRCBA-1 e é formado pelos pontos localizados na parte alta e média da bacia do rio Cuiabá (CBA 1, CBA 2, CBA 3, CBA 4 e CBA 5). Esses pontos se situam no rio Cuiabazinho, no rio Manso e no trecho do rio Cuiabá entre os municípios de Rosário Oeste, Cuiabá/Várzea Grande e Santo Antonio do Leverger. Entre as variáveis analisadas destacam-se nesse grupo o pH, a condutividade elétrica, e as concentrações de cromo e chumbo que obtiveram valores maiores em relação aos demais grupos formados pela AHA como pode ser visto nas figuras 3 e 4, justificando a formação desse grupo e a similaridade entre os pontos.

O segundo grupo BRS-1 é formado pelos pontos SL 7, SL 8, SL 9 e SL 11 localizados na bacia do rio São Lourenço. Os valores das variáveis avaliadas foram similares entres os pontos do grupo, destacando-se que, nesse grupo, as concentrações de Fe e Mn foram maiores do que nos demais grupos conforme mostrado na figura 4, sendo a possível causa do agrupamento desses pontos.

Os pontos do terceiro grupo BRS-2 são SL 6 e SL 10 situados nos rios Tenente Amaral e Ponte de Pedra, afluentes do rio São Lourenço. Os valores de pH, temperatura da água, condutividade elétrica, OD e DBO diferenciaram dos valores encontrados nos outros grupos (Figura 3), resultando em características semelhantes e o agrupamento entres esses pontos. Tanto os valores das variáveis físicas e químicas quanto dos metais, na sua maioria, apresentaram-se menores que os outros grupos, indicando que os pontos SL 6 e SL 10 que formam o grupo BRS-2 são os menos impactados da bacia em estudo.

O quarto grupo BRCBA-2 é composto pelos pontos CBA 12, CBA 13, CBA 14 e CBA 15, localizado na parte baixa da

bacia do rio Cuiabá, mais especificamente na região do Pantanal Mato-grossense. Essa região possui características próprias que a difere dos demais grupos, destacando principalmente as baixas concentrações de OD e os altos valores de DBO e temperatura da água, como pode ser observado na figura 3.

Os metais Cu e Cd não foram detectados nas amostras de água da bacia, portanto não foram apresentados gráficos de *box-plot* para esses metais. O Pb foi encontrado somente nos pontos que fazem parte do grupo BRCBA-1 e BRS-1, como pode ser visto na figura 4.

A análise discriminante foi realizada de acordo com os grupos gerados pela análise hierárquica de agrupamento. A matriz de classificação obtida para uma análise no modo “*standard*” mostrou uma correta classificação geral dos pontos de coleta nos grupos formados de 80% (Tabela 4). Todos os quatro grupos tiveram uma classificação acima de 70% que, segundo alguns autores significa um bom agrupamento (KANNELET al., 2007; SHRESTA; KAZAMA, 2007;). O BRCBA-1 possuiu a discriminação menos exata uma vez que 11 coletas deste grupo foram atribuídas erroneamente ao grupo BRS-1. Por outro lado, foram também associadas 10 coletas do grupo BRCBA-2 ao grupo BRCBA-1.

Tabela 4 - Matriz de classificação “jackknifed” da análise discriminante para avaliação do agrupamento do rio Cuiabá (modo “standard”, 12 variáveis)

	BRCBA-1	BRS-1	BRS-2	BRCBA-2	% correta
BRCBA-1	40	11	1	4	71
BRS-1	4	42	2	0	88
BRS-2	0	4	20	0	83
BRCBA-2	10	0	0	38	79
Total	54	57	23	42	80

A análise discriminante no modo “*stepwiseforward*” foi realizada a fim de verificar a possibilidade de se obter uma mesma classificação, porém com um menor número de variáveis. Os resultados mostraram uma classificação de 81%, praticamente o mesmo valor obtido no modo “*standard*”, porém reduzindo de doze para nove o número de variáveis discriminantes. Assim, a análise discriminante confirmou como correto o agrupamento formado pela análise hierárquica de agrupamentos. Com os grupos formados pela análise hierárquica e os resultados da análise discriminante, conclui-se que é possível avaliar a qualidade da água por trechos na bacia do rio Cuiabá, possibilitando futuramente um novo monitoramento com menor número de pontos de amostragem, menor número de variáveis analisadas e consequentemente uma redução dos custos sem perder a significância dos dados.

As variáveis físicas e químicas determinadas foram comparadas com os limites estabelecido pela Resolução do CONAMA 357/05 para rio de classe 2 (BRASIL, 2005). Para isso foram construídas curvas de probabilidade de inconformidade para cada variável determinada em relação aos limites superiores ou inferiores, descritos pela resolução, como visto na figura 5.

A resolução do CONAMA não estabelece um valor limite para temperatura da água e para a condutividade elétrica.

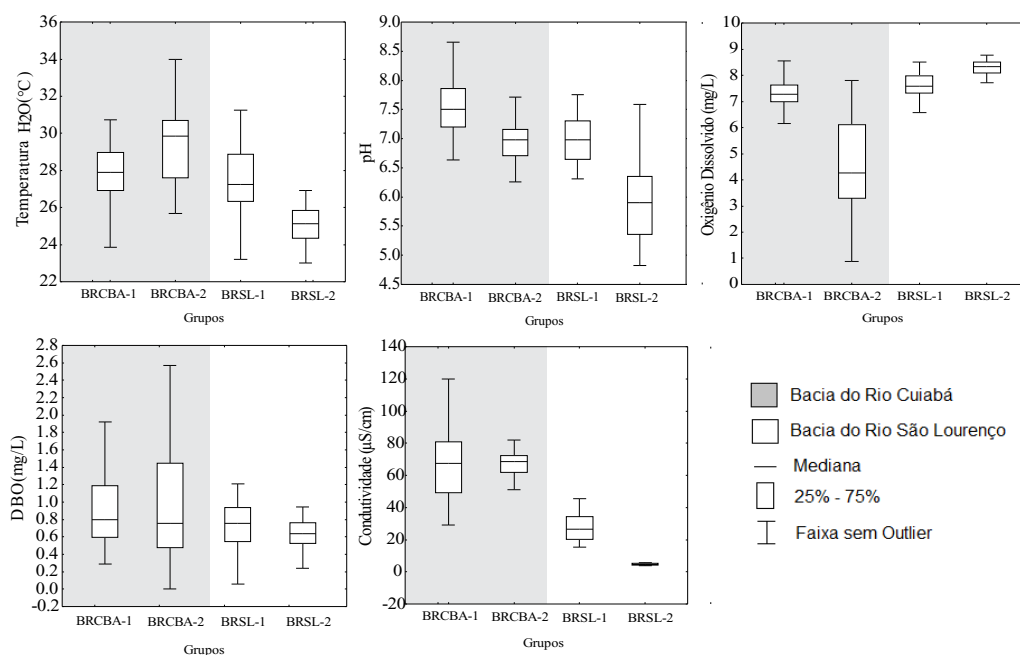


Figura 3 - Distribuição dos valores obtidos para as variáveis físicas e químicas analisadas nas amostras de água, em cada grupo, determinado pela análise hierárquica de agrupamento

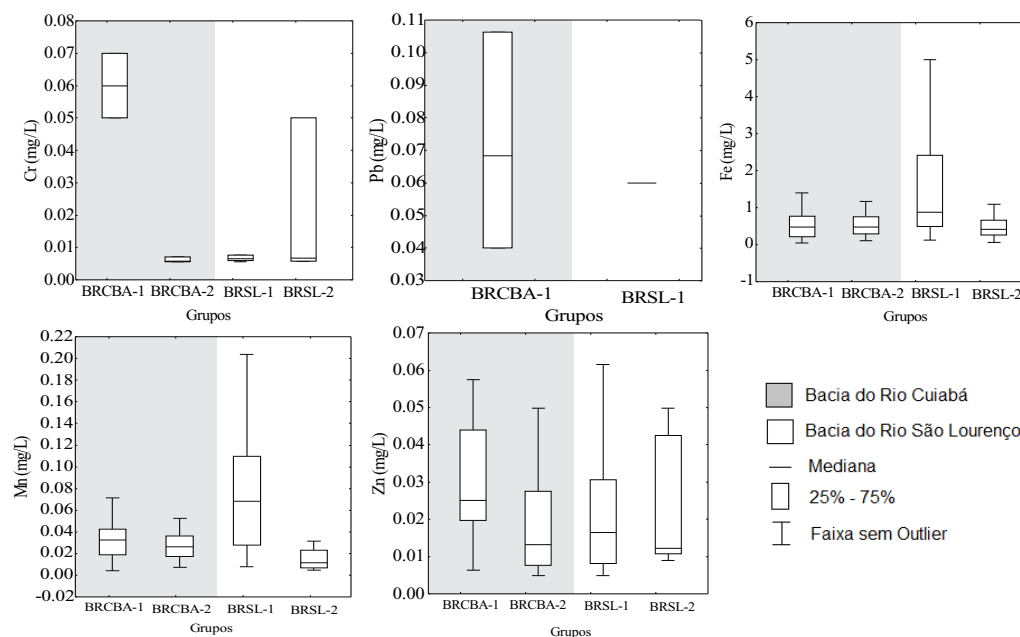


Figura 4 - Distribuição dos valores obtidos para os metais analisados nas amostras de água, em cada grupo, determinado pela análise hierárquica de agrupamento

Contudo através das curvas de probabilidade é possível perceber que no grupo BRSL-2 as temperaturas de água foram menores e no grupo BRCBA-2 foram as maiores. Os rios em que estão localizados os pontos do grupo BRSL-2 são o Tenente Amaral e o Ponte de Pedra. Estes rios são mais estreitos que o rio Cuiabá e São Lourenço, isso faz com que a vegetação presente nas margens desses rios se feche sobre eles, diminuindo a incidência da radiação solar e contribuindo para a menor temperatura. Os

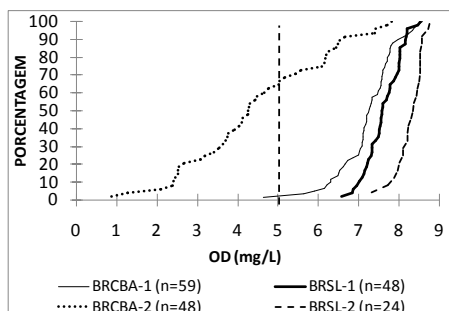
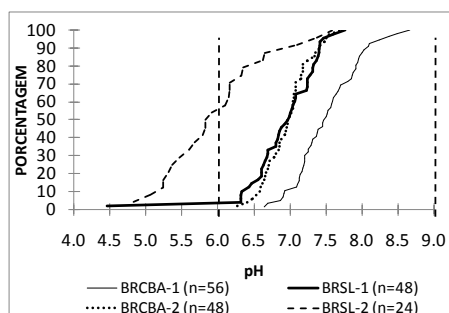
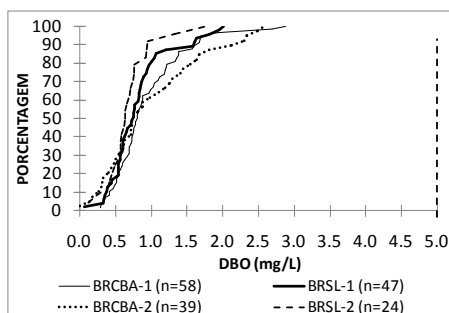
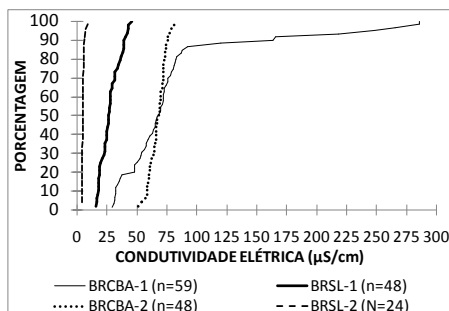
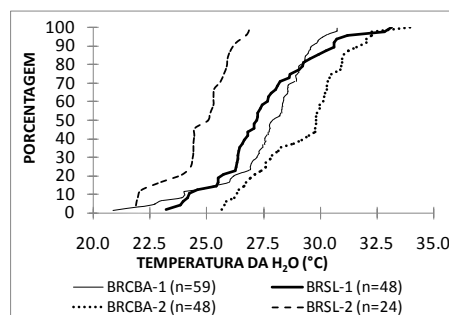
pontos da BRCBA-2 estão localizados na região do Pantanal onde ocorre uma grande área alagada e uma vazão baixíssima da água no rio, conseqüentemente uma maior exposição dessa água à radiação solar elevando assim a temperatura. Figueiredo (2012) também encontrou maiores temperaturas da água nessa região.

Através da curva de probabilidade da condutividade elétrica (Figura 5) é possível perceber que os maiores valores foram encontrados para a BRCBA-1 sendo o valor máximo de

285,6 $\mu\text{S cm}^{-1}$, porém com mediana de 68,2 $\mu\text{S cm}^{-1}$, aproximadamente o mesmo valor encontrado para a BRCBA-2 (68,5 $\mu\text{S cm}^{-1}$). Os altos valores de condutividade elétrica na BRCBA-1, mais especificamente no ponto CBA-1 são encontrados principalmente na época de estiagem quando há uma diminuição do volume de água do rio e conseqüentemente uma maior concentração de sais na água, sendo baixo na época chuvosa. Esse fato é devido a causas naturais, pela presença de rochas formadas por carbonatos de cálcio e magnésio (FIGUEIREDO; SALOMÃO, 2009). Relatórios de monitoramento da qualidade das águas da bacia do rio Cuiabá de 2005 e da Qualidade da Água da Região Hidrográfica do Paraguai de 2007 a 2009 ambos realizados pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA, 2010) também encontraram altos valores de condutividade elétrica na mesma região atribuindo a causas naturais, pela presença de jazidas de fosfato na região. Além dos carbonatos, a região do grupo BRCBA-1 tem como outras fontes propícias à contaminação, áreas de agropecuária e descartes de efluentes domésticos e industriais.

Analisando a curva de probabilidade de excedência do pH observa-se que os valores dos grupos BRCBA-1 e BRCBA-2 mantiveram-se dentro do estabelecido (6,0 a 9,0) pela Resolução CONAMA 357/2005 para rio de classe 2. Por outro lado, o grupo BRSL-2 apresentou aproximadamente 54% dos valores de pH abaixo do limite inferior estabelecido pela legislação. Esses valores foram registrados no ponto SL-10 tanto no período de chuva quanto no período de estiagem ficando entre 4,8 e 5,9. Esse ponto está localizado em uma região de preservação natural, ocorrendo pouco ou quase nenhuma ação antrópica, sendo circundada por uma vegetação de mata ciliar, de modo que o resultados dos valores de pH registrados neste ponto devem-se provavelmente ao solo ácido da região, do qual resultam águas com características ácidas tanto no período chuvoso quanto na estiagem. O grupo BRSL-1 apresentou apenas um único valor (pH=4,5) fora da faixa do estabelecido pela legislação, correspondendo a cerca de 2% dos resultados encontrados. Este valor é um fato isolado e explicado pela grande quantidade de chuvas registradas no mês de janeiro/12 e fevereiro/12 pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na estação de Rondonópolis próxima à região dos pontos de amostragem do grupo, conseqüentemente causando uma maior acidez da água neste mês.

Com relação ao OD, a curva de probabilidade mostrou que o grupo BRCBA-2 teve cerca de 60% dos dados em desacordo com a resolução CONAMA 357/05, que estabelece um valor mínimo de 5 mg L^{-1} de OD. Como já visto o grupo BRCBA-2 é formado pelos pontos pertencentes ao Pantanal e os baixos valores de OD são explicados pela grande quantidade de matéria orgânica depositada na região, ocasionado pela baixa declividade do relevo. Os relatórios de monitoramento da qualidade das águas da bacia do rio Cuiabá de 2005 e da Qualidade da Água da Região Hidrográfica do Paraguai de 2007 a 2009 realizadas pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente encontraram valores semelhantes de OD na região do Pantanal explicado como um fenômeno denominado dequada, onde há uma diminuição no teor de oxigênio dissolvido no rio pelo aporte de matéria orgânica no período das chuvas no Pantanal. Contudo, o Pantanal Mato-Grossense possui características



Limite CONAMA 357/05 - Classe 2
n = número de dados utilizados

Figura 5 - Curvas de probabilidade de excedência ou não excedência dos valores das variáveis físicas e químicas determinados na bacia do rio Cuiabá/São Lourenço

peculiares e o baixo teor de oxigênio é um fato natural que não interfere no equilíbrio do ecossistema da região (FIGUEIREDO; SALOMÃO, 2009). O grupo BRCBA-1 apresentou valores de OD dentro do estabelecido pela legislação, sendo que apenas um único valor ($OD = 4,6 \text{ mg L}^{-1}$), ficou fora do limite mínimo permitido. Esse valor foi encontrado no ponto CBA-5 em novembro/11 e nesse mesmo mês foi constatado em um trecho do rio Cuiabá localizado dentro da área urbana de Várzea Grande e Cuiabá o surgimento de uma mancha escura e de alguns peixes mortos. O fato que ocasionou a mortandade desses peixes foi provavelmente a redução do OD nesse trecho do rio, causado possivelmente pelo transporte de grande quantidade de material orgânico pela água da chuva consumindo o oxigênio dissolvido para sua decomposição ou também pelo descarte de efluentes. Esse incidente teve efeito a 66 km abaixo da cidade de Cuiabá onde está localizado o ponto CBA-5.

A variável DBO apresentou probabilidade de excedência nula para todos os grupos, ou seja, nenhum dado encontrado ficou fora do estabelecido pela legislação.

Na Figura 6 estão apresentadas as curvas de probabilidade de inconformidade dos metais em relação ao tolerável pela legislação para ambientes aquáticos de Classe 2, segundo a resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005).

OPb não foi detectado nos grupos BRCBA-2 e BRS-2 no período de amostragem. No BRS-1 foi detectada presença de Pb apenas uma única vez, mais especificamente no ponto SL-8 com valor de $0,06 \text{ mg L}^{-1}$ excedendo o máximo permitido pela legislação que é de $0,03 \text{ mg L}^{-1}$. Do período amostrado, na BRCBA-1, foi encontrada presença de Pb somente em agosto de 2011 em três pontos (CBA-1, CBA-2 e CBA-4) sendo todos maiores que o máximo permitido pela legislação, como pode ser visto na figura 6. Esses valores podem ter sido provenientes da incineração de resíduos ou do lançamento de efluentes ou também de resíduos metalúrgicos e sucatas que são as principais fontes de poluição de chumbo (CETESB, 2001), uma vez que os pontos desse grupo correspondem à região com maior atividade urbana e maior densidade populacional da bacia.

Analisando a curva de probabilidade de excedência do Cr (Figura 6), observou-se que somente o grupo BRCBA-1 teve valores que excederam o máximo permitido pela legislação em 67% do total dos dados encontrados. O Cr é utilizado principalmente em curtumes, porém ainda não se sabe dizer se nessa região onde foram encontrados traços de Cr existem curtumes. Portanto, cabe fazer uma investigação mais detalhada na região quanto à origem do cromo, se natural (proveniente do solo) ou originário dos curtumes e/ou outras atividades industriais presentes na região.

Observando a curva de probabilidade de excedência do Mn, observa-se que o grupo BRS-1 teve aproximadamente 25% dos dados encontrados acima do valor máximo permitido pela legislação que é de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$.

Para o metal Fe, os grupos BRCBA-1, BRCBA-2, BRS-1 e BRS-2 tiveram respectivamente cerca de 65, 75, 95 e 80% dos valores superiores a $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ que é o máximo permitido pela legislação. Avaliando o gráfico observa-se que os grupos BRCBA-1, BRCBA-2 e BRS-2 tiveram praticamente comportamentos iguais de concentração de Fe no solo. As maio-

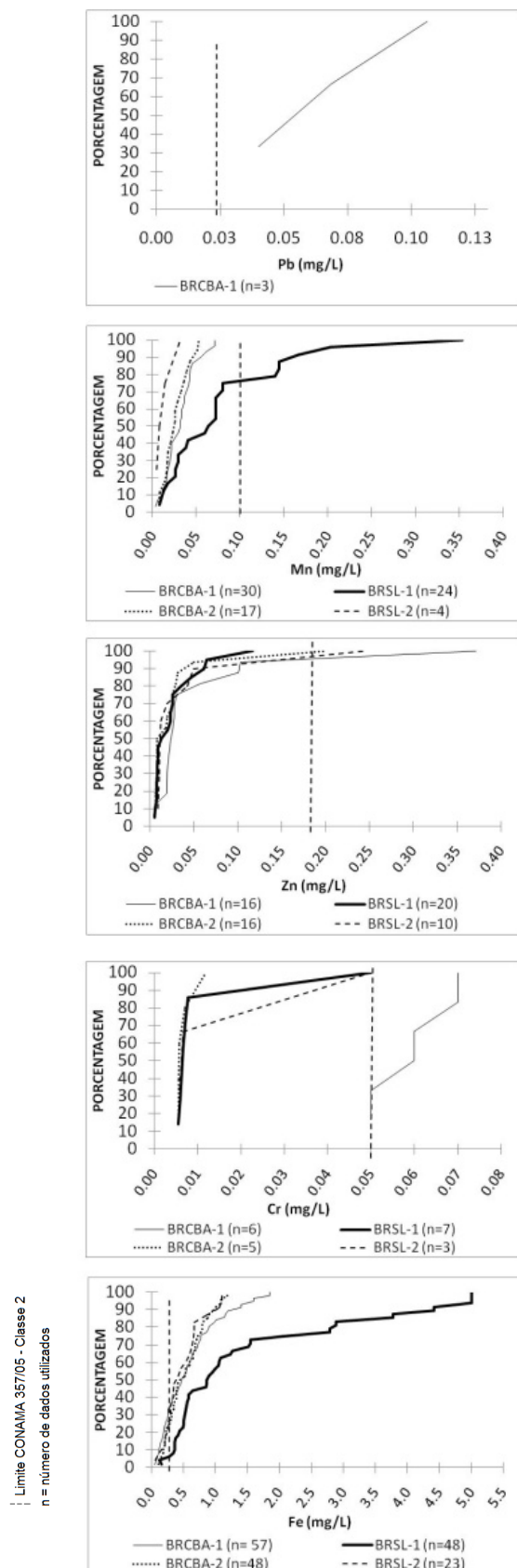


Figura 6 - Curvas de probabilidade de excedência ou não excedência dos valores dos metais determinados nas amostras de água da bacia do rio Cuiabá/São Lourenço

res concentrações de Fe foram encontradas na BRSL-1, assim como aconteceu com o Mn. A ocorrência de Fe e Mn em águas naturais é oriunda do solo e das rochas que com as chuvas vão sendo carregados para os rios (AZEVEDO; CHASIN, 2003). Os íons de ferro podem apresentar-se de duas formas no ambiente aquático, na forma reduzida (Fe^{+2}) ou oxidada (Fe^{+3}). Na forma reduzida, a água contendo ferro não apresenta coloração, pois o ferro se encontra no estado solúvel e ferroso (Fe^{+2}), porém em ambientes oxidantes o Fe^{+2} passa a Fe^{+3} (sob forma de óxido ou hidróxido) que são insolúveis em água, conferindo a água uma aparência de vermelha/alaranjada. Esse fato explica os maiores valores de concentração de Fe e Mn no grupo BRSL-1, principalmente nos pontos SL-9 e SL-11 deste grupo, localizados no Rio Vermelho, pois além da água deste rio apresentar uma aparência vermelha ela também possuía grande quantidade de material em suspensão.

A probabilidade de excedência do limite superior estabelecido pela resolução para o Zn foi de aproximadamente 6% para o BRCBA-1, BRCBA-2 e BRSL-2 o que indica que, ao longo do período amostrado, a ocorrência de conflitos com o enquadramento legal desse ambiente aquático com relação a este metal apresentou probabilidade relativamente pequena. A maior concentração de Zn ocorreu no grupo BRCBA-1, mais especificamente no ponto CBA-5, com valor igual a $0,37 \text{ mg L}^{-1}$. O Zn está relacionado com despejos de efluentes industrial sendo esta a possível causa do valor encontrado nesse ponto, visto que o ponto CBA-5 se encontra a jusante da região urbana Cuiabá/Várzea Grande.

CONCLUSÕES

A AHA mostrou que é possível reduzir o número de pontos de amostragem de quinze para quatro pontos na bacia em estudo, ou seja, para um eventual estudo das águas dessa bacia utilizando as mesmas variáveis poder-se-ia escolher apenas um ponto de cada agrupamento formado pela AHA, reduzindo assim os custos desde a coleta das amostras até a determinação dos metais em água.

O grupo BRCBA-1 foi o que apresentou maior impacto das águas na bacia, pois valor de OD abaixo do mínimo estabelecido pela legislação indica uma poluição por matéria orgânica na água. Além disso, os metais Pb e Cr encontrados não são essenciais aos seres vivos e são considerados tóxicos. As possíveis fontes de poluição da água ocasionada nesse grupo são provenientes de descartes industriais e domésticos, visto que esse grupo pertence a uma região de maior urbanização.

O grupo BRCBA-2 é formado por pontos pertencentes ao rio Cuiabá, localizados no Pantanal Mato-grossense. As variáveis do grupo BRCBA-2 que ficaram em desacordo com a legislação foram o OD, o Zn e o Fe. Como em todos os outros grupos, o Fe apresentou valores de concentração acima do estabelecido pela legislação, explicado pela composição do solo que contém principalmente Fe e Mn. O que merece destaque nesse grupo é o OD que apresentou aproximadamente 62% dos valores encontrados abaixo do limite mínimo estabelecido pela

legislação. O OD é um dos principais indicadores de poluição da água pela matéria orgânica, porém o Pantanal Mato-grossense possui características peculiares e o baixo teor de oxigênio é um fato natural que não interfere no equilíbrio do ecossistema da região.

O grupo BRSL-1 é formado por pontos localizados no rio Vermelho e no rio São Lourenço, pertencentes à região da bacia do rio São Lourenço. As variáveis que ficaram em desacordo com a legislação do grupo BRSL-1 foram o pH, o Pb, o Mn e o Fe. O pH apresentou um único valor fora da faixa estabelecido pela legislação, explicado pela grande quantidade de chuvas registradas que como consequência levam uma maior quantidade de matéria orgânica aos rios, podendo ocasionar uma maior acidez na água. O Pb foi encontrado somente uma única vez em um ponto do grupo, não sendo mais detectado durante o período de amostragem. O Fe e o Mn apresentaram 95% e 25% dos valores encontrados acima do limite do estabelecido pelo CONAMA, provavelmente devido à formação do solo da região, porém não se descarta uma provável contribuição da concentração desses metais por parte dos fertilizantes que são utilizados nas lavouras, sendo a principal fonte de poluição da bacia.

O outro grupo é o BRSL-2 formado por dois pontos, um no Tenente Amaral e o outro no rio Ponte de Pedra, ambos pertencentes à bacia do rio São Lourenço, rios esses que apresentam característica naturais muito mais preservadas em relação aos demais estudados na bacia, sofrendo assim menos impacto. O grupo BRSL-2 apresentou valores de variáveis que ficaram em desacordo com a legislação, como o pH, o Fe e o Zn. A variável pH no grupo BRSL-2 apresentou 54% dos valores encontrados fora da faixa estabelecida pela resolução. Esse fato não leva a crer que esses valores sejam consequência de uma possível poluição nesses pontos, visto que todas as outras variáveis avaliadas apresentaram valores menores em relação aos outros grupos e em acordo com a resolução do CONAMA, sendo explicado, portanto como uma característica própria do solo da região. A presença de Fe nas águas é oriunda da formação dos solos e das rochas, mas não se descarta também uma possível contribuição pelos fertilizantes nessa região como já dito anteriormente.

Em resumo, as concentrações de metais encontradas em água não indicam uma contaminação elevada dos rios da Bacia do Rio Cuiabá e São Lourenço, entretanto mostraram que o uso do solo da área de drenagem dessa bacia está introduzindo impactos no curso d'água e que devem ser consideradas medidas mitigadoras para impedir que esses impactos se tornem mais significativos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio com bolsa de mestrado e à FAPEMAT e CNPq pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ANA - Agência Nacional de Águas. *Projeto de Implementação de Práticas de Gerenciamento Integrado de Bacia Hidrográfica para o Pantanal e Alto Paraguai*. ANA/GEF/PNUMA/OEA: Subprojeto: Avaliação dos mecanismos financeiros para gerenciamento sustentável da bacia piloto do Rio Cuiabá. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2003
- APHA - American Public Health Association. Part 3000, Metals. In: *STANDARD methods for the examination of water and wastewater*. 22nd ed. [Washington, D.C.; American Public Health Association 2012. p. 3.1 -3.106,
- ARAÚJO, L. M. N.; MORAIS, A.; BOAS, M. D. V.; PEREIRA, V. S. A.; SALES, A. N.; ARAÚJO, F. A. Estudo dos principais parâmetros indicadores da qualidade da água na bacia do rio Paraíba do sul. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 17., São Paulo, 2007. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2007.
- AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. *Metais: gerenciamento da toxicidade*. São Paulo: Atheneu, 2003.
- BRAGA, B.; PORTO, E. M.; TUCCI, C. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: BISWAS, A. K.; TORTAJADA, C.; BRAGA, B.; RODRIGUEZ, D. J. (Org.). *Águas Doces no Brasil*. 3. ed. São Paulo: , Escrituras, 1999. P. 637-651.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 10 set. 2011.
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. *Estatística básica*. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2002..
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo*. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2001. (Série relatórios ambientais).
- CHECOLI, C. H. B. *Gestão participativa da microbacia hidrográfica da Cabeceira do Rio São Lourenço*: definição e implantação de diferentes tecnologias para realização do PRAD, Campo Verde – MT. 2012. 83 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.
- CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C. Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água como enquadramento legal de sistemas aquáticos – estudo de caso do rio Pariquera-Açu (SP). *Engenharia Sanitária Ambiental*, v. 15, n. 4, p. 337-346, out./dez. 2010.
- DORES, E. F. G. C.; DE-LAMONICA-FREIRE, E. M. Contaminação do ambiente aquático por pesticidas. Estudo de caso: águas usadas para consumo humano em primavera do leste, mato grosso – análise preliminar. *Química Nova*, v. 24, n. 1, p. 27-36, jan./fev. 2001.
- ECOPLAN Engenharia Ltda. Caracterização da Bacia. In: *DIAGNÓSTICO da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá*. 2003. Cap. 1. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/gefap/arquivos/Cap%201.PDF>>. Acesso em: 27 e nov. 2011.
- ESTEVES, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998.
- FAMATO - Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso; SEMA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente; TNC - The Nature Conservancy. *Recuperação de áreas degradadas: uma proposta para o cerrado da bacia hidrográfica do rio São Lourenço – Mato Grosso*. Mato Grosso: Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso, 2008. Disponível em: <http://lcf.esalq.usp.br/prof/pedro/lib/execute.php?media=ensino:graduacao>manual_2008_recuperacao_bacia_do_sao_lourenco.pdf>. Acesso em: 15 e fev. 2014.
- FEMA - Fundação Estadual do Meio Ambiente de Mato Grosso. *Relatório da Qualidade da água dos principais rios da Bacia do Alto Paraguai: Resultados Preliminares 1º Semestre/95*. Cuiabá-MT: Fundação Estadual do Meio Ambiente de Mato Grosso;, 1995.
- FEMA - Fundação Estadual do Meio Ambiente de Mato Grosso. *Projeto de Recuperação e Conservação da Bacia do Rio Cuiabá FEMA/EMPAER*: subprojeto: monitoramento da qualidade da água do Rio Cuiabá com ênfase na bacia do Rio Jangada. 2ª versão. Cuiabá: FEMA, 2002.
- FIGUEIREDO, D. M.; SALOMÃO, F. X. T. *Bacia do Rio Cuiabá: uma abordagem socioambiental*. Cuiabá, MT: Entrelinhas: EdUFMT, 2009.
- FIGUEIREDO, S. B. *Análise multivariada fatorial e de agrupamentos de parâmetros químicos, físicos e microbiológicos da sub-bacia do rio Cuiabá-MT*. 2012. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.
- KANNEL, P. R.; LEE, S.; KANEL, S. R.; KHAN, S. P. Chemometric application in classification and assessment of monitoring locations of an urban river system. *Analytica Chimica Acta*, v. 582, n. 2, p. 390-399, Jan. 2007.
- LIBOS, M.; ROTUNDO FILHO, O. C.; ZEILHOFER, P. Modelagem da poluição não pontual na bacia do rio Cuiabá baseada em geoprocessamento. *RBRH: revista brasileira de recursos hídricos*, v. 8, n. 4, p. 115-135, out./dez. 2003.
- LOPES, R. A. *Extração sequencial de metais pesados em sedimentos de fundo ao longo do rio Tietê (SP): Partição entre as fases lábil e residual*.

2010. 179 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. *Programa de Estruturação Institucional da Consolidação da Política Nacional de Recursos Hídricos*. BRA/OEA/01/002. Relatório Parcial – Caracterização das Unidades Naturais e Configuração Atual dos Tipos de Uso/Ocupação da Terra do Estado de Mato Grosso. Brasília: Ministério do Meio Ambiente 2007. Disponível em: <http://www.sema.mt.gov.br/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=563&Itemid=630>. Acesso em : 22 nov, 2011.

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

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2002. cap. 19, p. 635-649.

RIBANI, M.; BOTTOLI, C. B. G.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. S. F.; MELO, L. F. C. Validação de métodos cromatográficos e eletroforéticos. *Química Nova*, v. 27, n. 5, p. 771-780, set./out. 2004.

SAMPAIO, A. C. S. *Metais pesados na água e sedimentos dos rios da bacia do Alto Paraguai*. 2003. 76 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) - Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2003.

SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Superintendência de Monitoramento de Indicadores Ambientais. *Relatório de Monitoramento de Qualidade das Águas da Sub-bacia do Rio Cuiabá, MT – 2005*. Cuiabá: Secretaria de Estado do Meio Ambiente / MT; SMIA, 2006.

SEMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Superintendência de Monitoramento de Indicadores Ambientais. *Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água da Região Hidrográfica do Paraguai – 2007 a 2009*. Cuiabá: Secretaria de Estado do Meio Ambiente /MT; Superintendência de Monitoramento de Indicadores Ambientais, 2010.

SHINMA, E. A. *Avaliação da qualidade das águas dos rios da bacia hidrográfica do Alto Paraguai - Pantanal*. 2004. 162 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) - Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2004.

SHRESTA, S.; KAZAMA, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environ. Modelling Software*, v. 22, n. 4, p. 464-475, Apr. 2007.

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBAN, L. Assessment

of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research*, v. 32, n. 12, p. 3581-3592, Dec. 1998.

WARREN, L. A.; HAACK, E. A. Biogeochemical controls on metal behaviour in freshwater environments. *Earth-Science Reviews*, v. 54, n. 4, p. 261-320, Aug. 2001.