

# Metais pesados nos sedimentos ativos de corrente na confluência dos rios Piranhas e Seridó, estado do RN

## Heavy metals in sediments active current in the confluence of Piranhas and Seridó rivers , RN state

### RESUMO

Neste trabalho se discute as definições de Sedimento de Fundo (SF) e Sedimento Ativo de Corrente (SAC), na perspectiva de aplicação dos parâmetros nacionais e internacionais definidores da qualidade dos sedimentos. Um estudo de caso concernente à coleta de 432 amostras SAC e análise dos metais As, Cd, Cr, Cu, Ni e Zn, na região de confluência dos Rios Piranhas e Seridó, no Rio Grande do Norte, revelou que, na exceção do zinco, todos os demais estão presentes em concentrações superiores àquelas indicadas pela Resolução do CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004. Na região de confluência dos Rios Piranhas e Seridó, abrangendo os municípios de Caicó, Timbaúba dos Batista e São Fernando, os metais As, Cd, Cr, Cu, Ni e Pb estão geodisponíveis em concentrações prejudiciais a saúde humana, conforme os valores de referência da Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004, do Canadian Council of Ministers of the Environment" (CCME, 2002), MacDonald *et al.* (2000), Mc Donald *et al.* (2003), USEPA (2010) e do Wisconsin Department of Natural Resources (2003).

**PALAVRAS-CHAVE:** sedimento ativo de corrente, sedimento de fundo, qualidade de sedimento

Mário Tavares de O. Cavalcanti Nt.

Programa DINTER UFCG/IFRN  
Natal, RN, Brasil  
mario.tavares@ifrn.edu.br

Maria Sallydelândia Sobral de Farias

Programa PPGRN/UFCG  
Campina Grande, PB, Brasil  
sallyfarias@hotmail.com

José Dantas Neto

Programa PPGRN/UFCG  
Campina Grande, PB, Brasil  
zedantas1955@gmail.com

### ABSTRACT

The paper discusses the definitions of sediment Fund (SF) and Sediment Active Current (SAC) in the context of application of the defining national and international parameters of quality of sediment. A case studied concerning 432 samples SAC collected and analysis of the metals As, Cd, Cr, Cu, Ni and Zn in the region of the confluence of the Seridó and Piranhas Rivers, in Rio Grande do Norte state, northeast of Brazil, revealed that, in the exception of zinc, all others elements are present in concentrations higher than those indicated by CONAMA Resolution No. 344 of 25 March 2004 in the region of the confluence of the Piranhas and Seridó Rivers, covering the municipalities of Caicó, Timbaúba dos Batistas and São Fernando. The metals Cd, Cr, Cu, Ni and Pb are geoavailable in concentrations harmful to human health, according to the reference values of CONAMA Resolution No. 344, of March 25, 2004, Canadian Council of Ministers of the Environment "(CCME, 2002 ), MacDonald *et al.* (2000), Mc Donald *et al.* (2003), USEPA (2010), Wisconsin Department of Natural Resources (2003).

**KEYWORDS:** bottom sediment, active sediment stream, sediment quality

## INTRODUÇÃO

As Diretrizes para Avaliação da Qualidade de Sedimentos (Sediment Quality Guidelines - SQG) são controversas (Simpson *et al.*, 2005), pois são vários os critérios, definições e abordagens adotadas, com os consequentes problemas de aplicabilidade. Duas definições se confrontam: Sedimento de Fundo (SF), para o qual se identificam várias normas a nível nacional e internacional, e Sedimento Ativo de Corrente (SAC), para o qual não se reconhece nenhuma proposição de parâmetros de qualidade.

MacDonald *et al.* (2000) apresentaram valores de referência para a qualidade de sedimentos visando à proteção de organismos que residem em sedimentos do Estado da Florida (USA), indicando aqueles teores cuja concentração situa-se no limiar entre os valores que não causam danos aos organismos residentes em sedimentos (TEC – Threshold Effect Concentration) e os que causam provável efeito negativo (PEC – Probable Effect Concentrations) nos organismos que vivem nos sedimentos daquele Estado norte-americano. Mais tarde, o Wisconsin Department of Natural Resources (2003), baseado em MacDonald *et al.* (2000) e Mc Donald *et al.* 2003, apresentou quatro níveis de referência para a qualidade de sedimentos, do qual destacamos os teores de metais, também utilizado pela USEPA (2010). Para tanto aquele departamento sugeriu um parâmetro intermediário (MEC – Midpoint Effect Concentration) igual a média aritmética entre TEC e PEC que reproduzimos na Tabela 1.

A Resolução do CONAMA nº 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, dentre os quais os teores limites de alguns metais presentes nos sedimentos de água doce e salgada (ver tabela 2), tomando por base os

limites estabelecidos pelo “Canadian Council of Ministers of the Environment” (CCME, 2002) para arsênio, metais pesados e compostos orgânicos visando à proteção da vida aquática, o qual foi construído a partir de MacDonald *et al.* (2000) e Mc Donald *et al.* (2003). Esses mesmos valores de referência foram adotados pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004 (ver tabela 2) que estabelece os limites de teor de alguns metais para a avaliação da qualidade dos materiais a serem dragados em sedimentos de água doce e salina/salobra.

Um aspecto fundamental, que tem sido negligenciado pela maioria das abordagens, reside nas definições e classificações de Sedimentos. A maioria das Diretrizes para Avaliação da Qualidade de Sedimentos (SQG – Sediment Quality Guidelines) enfocam os denominados Sedimentos de Fundo (SF), os quais, via de regra, englobam a porção dendrítica (areia, silte, argila), incluindo a parte ativa de corrente, os organismos bentônicos, enfim, todo o material de origem geogênica, biogênica e antropogênica que compõem o assoalho dos corpos d’água (rio, lagoa, oceano, açude etc.). Na maioria das abordagens de SQG’s são realizadas análises em amostras que são, na realidade, uma mistura das porções geogênicas, biogênicas e antropogênicas que compõem as amostras dos SF’s. Na análise dos resultados de laboratório dessas amostras, o poder de bioacumulação de determinados metais pelas plantas e animais que compõem o SF tem sido negligenciado, implicando que essas informações podem refletir apenas efeitos pontuais, se prestando basicamente para verificar a presença de contaminantes em determinadas partes do fundo do corpo d’água objeto de estudo.

Quando o material coletado é exclusivamente o Sedimento Ativo de Corrente (SAC), como é o caso deste trabalho, se tem por objetivo

identificar a fonte dos metais (e demais elementos químicos) e, assim, delimitar corpos hospedeiros de mineralizações ou áreas de emissão de poluentes que alimentam a bacia de captação. Vistos de outra maneira, se prestam também para verificar a extensão da dispersão de metais em uma Bacia de Drenagem. As amostras de SAC são coletadas exclusivamente no leito de drenagem ativo, ou seja, naquela porção onde os sedimentos estão sendo constantemente transportados, daí serem chamados de Ativos. As amostras SAC são constituídas predominantemente de partículas e agregados minerais que são produzidas numa determinada área chamada de bacia de captação, situada a montante do local de coleta (estação de amostragem). O efeito da bioacumulação no aumento do teor de alguns metais não é considerado nas amostras SAC, pois esta porção foi eliminada quando da coleta, conforme tradicionalmente é recomendado pelos geoquímicos (ver LINS, 2003). Esta eliminação é justificada, uma vez que o objetivo precípua deste tipo de amostragem é verificar a fonte de metais que se dispersaram na rede de drenagem.

As diferenças entre SAC e SF são sutis e a avaliação dos resultados têm implicações distintas em alguns aspectos e similares em outros. Os valores constantes na Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004 (Tabela 2), referem-se ao conteúdo químico em Sedimentos de Fundo (SF), desconsiderando a bioacumulação e a biodisponibilidade. Portanto, os teores apresentados podem estar acrescidos em relação àqueles coletados em SAC em função da bioacumulação.

Nesta perspectiva, a presente pesquisa teve como foco principal, fazer uma avaliação de metais pesados nos sedimentos ativo de corrente (SAC) na região de confluência dos Rios Piranhas e Seridó e compará-las com diretrizes para Sedimentos de fundo, do

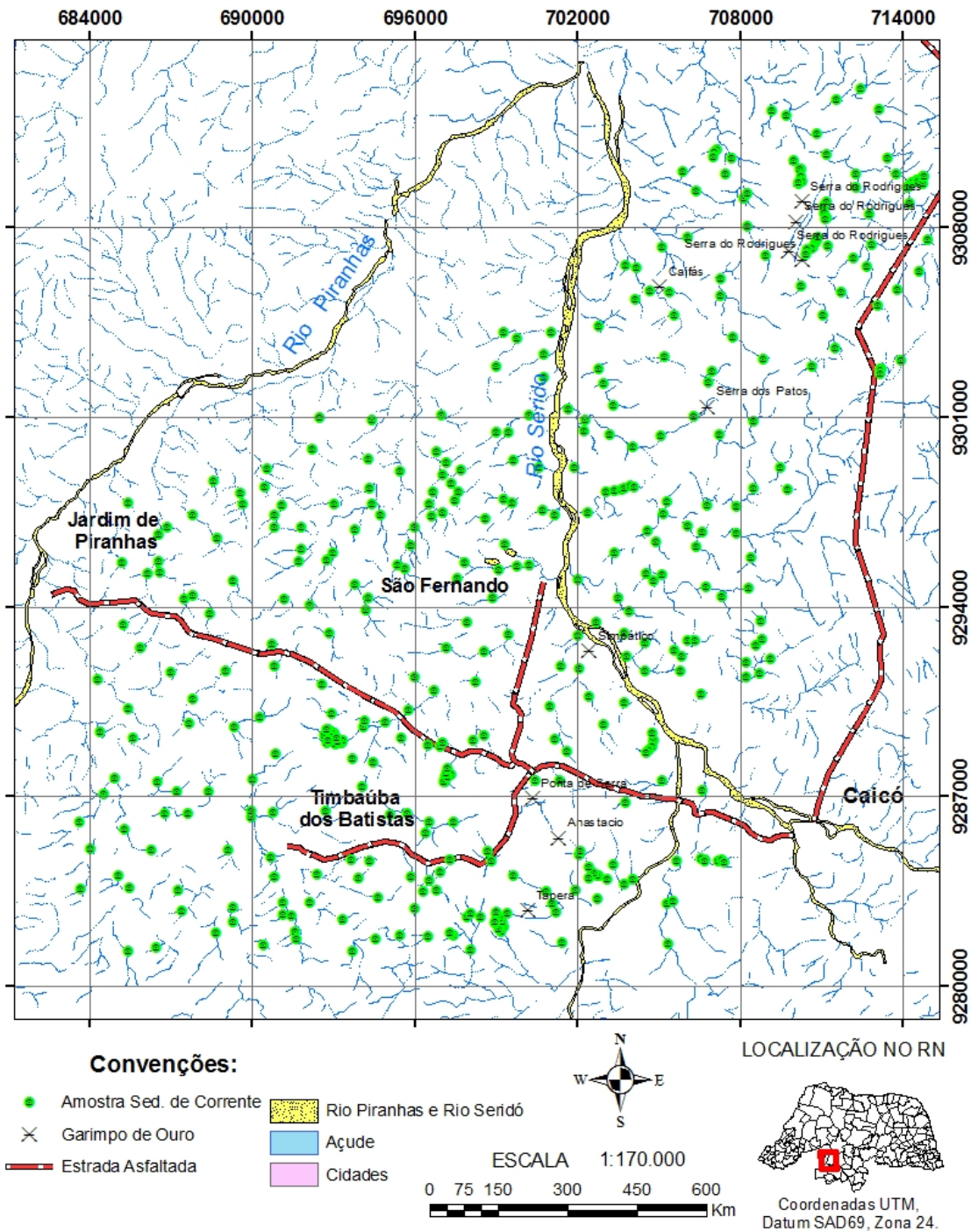


Figura 1 - Mapa de Localização das estações de coleta de amostras SAD, entre os municípios de Caicó e de São Fernando, no Estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil. (Georreferenciamento segundo coordenadas UTM, Datum SAD69, Zona 24)

CONAMA e do Wisconsin Department of Natural Resources (2003).

## METODOLOGIA

Foram coletadas 432 amostras de SAC na região de confluência dos Rios Piranhas e Seridó, no Estado do Rio Grande do Norte (figura 1), nordeste do Brasil, onde se constatou teores de As, Cd, Pb, Cu, Cr e Ni acima daqueles níveis recomendados pelas normas

brasileiras para a qualidade dos sedimentos a serem dragados, ou seja, os SF's. Pela ausência de outros parâmetros, se utilizou deste da Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004, por ser o SF aquele que mais se assemelha aos SAC.

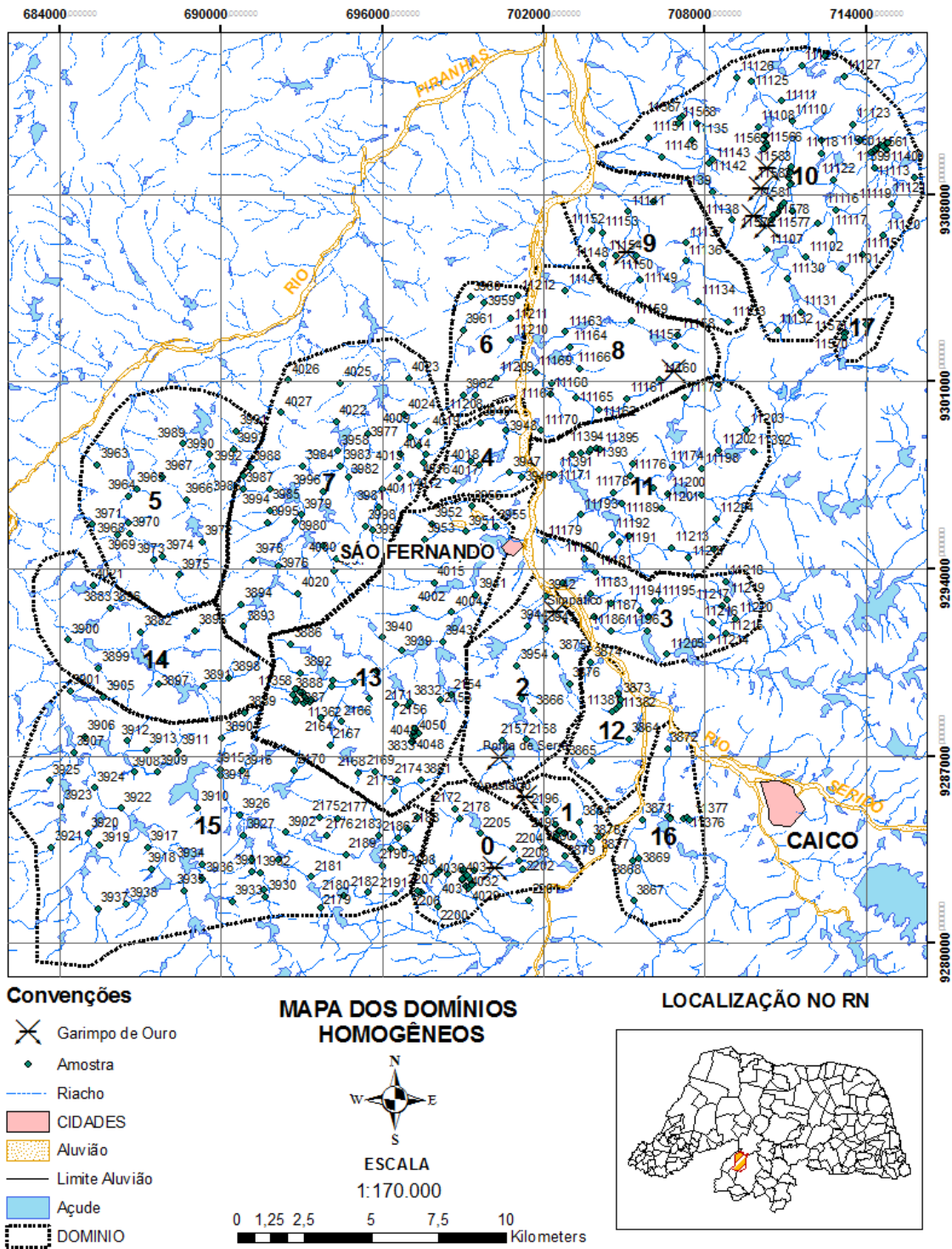


Figura 2 - Distribuição dos domínios homogêneos na região de confluência dos Rios Piranhas e Seridó, no Estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil – áreas dentro de um mesmo polígono são consideradas homogêneas com respeito aos teores As, Cd, Pb, Cu, Cr e Ni

Os dados coletados foram divididos em 18 domínios homogêneos, uma vez que o conjunto de teores de cada um dos elementos aqui apresentados revelou uma distribuição multimodal por refletirem diferentes fontes de

contaminação (confirmada pela análise do fluxo direcional da rede de drenagem, altimetria, imagens de satélite CBERS, imagem SRTM referência SB-24-Z-B e interpretação tridimensional do modelo digital do terreno).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesses 18 Domínios convém destacar que o Cádmiu só esta presente acima do limite inferior de detecção no Domínio 13, a prata nos domínios 10 e 12 e o

TABELA 1 - Teores médios em ppm dos elementos químicos determinados em cada domínio homogêneo na região de confluência dos Rios Piranhas e Seridó, no Estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	S	W	Zn
Domínio 0	0	0	3,9	8,3	5,4	1,2	12,7	12,7	1,53	21,1	21,1
Domínio 1	0	0	4,6	8,6	3,6	1,1	6,9	7,0	0	14,7	14,6
Domínio 2	1,9	0	5,3	15,5	6,3	1,2	11,0	11,1	2,4	23,9	23,9
Domínio 3	1,5	0	8,4	28,0	5,6	1,1	12,6	12,8	1,8	18,9	18,8
Domínio 4	1,8	0	9,8	40,1	5,1	1,5	11,3	11,3	1,7	26,1	26,1
Domínio 5	0	0	10,2	31,3	4,5	1,4	5,5	5,5	1,6	27,5	27,5
Domínio 6	0	0	10,3	23,1	3,2	1,2	7,2	7,4	1,4	28,1	28,1
Domínio 7	2,5	0	9,1	33,3	5,9	1,3	5,8	5,9	1,6	23,6	23,6
Domínio 8	1,3	0	8,5	30,8	9,1	1,4	16,3	16,3	1,8	21,8	21,8
Domínio 9	0	0	5,4	30,3	7,2	1,6	4,5	4,7	2,5	29,1	29,1
Domínio 10	0	0	8,1	34,8	9,8	1,7	8,4	8,5	2,3	31,7	31,6
Domínio 11	1,3	0	7,9	24,5	5,9	1,2	14,1	14,1	1,3	18,4	18,4
Domínio 12	0	0	7,8	17,7	8,4	1,4	8,2	8,3	1,7	25,2	25,2
Domínio 13	0,6	0,02	10,1	39,2	16,1	2,0	16,2	0	4,4	31,5	25,5
Domínio 14	0	0	4,1	19,4	1,2	1,2	7,4	0	0,7	23,4	23,4
Domínio 15	0,4	0	6,0	18,3	6,5	1,5	13,0	0	2,7	29,2	29,1
Domínio 16	0	0	5,7	18,2	7,7	1,2	3,5	0	0,6	15,0	14,9
Domínio 17	0	0	4,8	20,8	5,1	1,4	5,0	0	0	25,0	25,0

arsênio nos domínios 2, 3, 4, 7, 8, 11, 13 e 15. O chumbo nos domínios 13, 14, 15, 16 e 17 (Figura 2).

Destaca-se a Correlação fortemente positiva entre o W e Zn em todos os domínios, como pode ser observado, ainda que parcialmente, pelas médias aritméticas de teores de alguns elementos listadas por domínio na tabela 1. Todavia, esses elementos não foram considerados neste trabalho por não constarem na Resolução do CONAMA. Uma forte correlação também pode ser observada entre o Chumbo e o Níquel do domínio 0 ao domínio 12 (figura 2), uma vez que nos demais domínios o Pb está ausente ou abaixo do limite de detecção. Essas fortes correlações sugerem uma associação geoquímica entre esses elementos e que cada domínio se constitui numa fonte única de

suprimento de metais para a bacia de captação.

Observa-se, na figura 3, a média dos teores dos elementos As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn. As linhas alternadas, tracejadas e pontilhadas, referem-se aos valores de referência dos metais para água doce, acrescido dos números 1 e 2 referentes aos níveis 1 e 2 (quando os teores situam-se na escala do gráfico), conforme estabelecido naquela resolução do CONAMA. O zinco não está incluído, pois o valor mínimo de referência, 123 mg/Kg, situa-se fora dos valores de área de abrangência do gráfico, denotando que nenhum elemento teve teor médio que atingisse tais valores. O Cr, Cu e Pb estão representados no gráfico apenas com respeito ao nível 1, pois os valores relativos ao nível 2 fogem da escala do gráfico.

Observa-se que as médias dos elementos estão abaixo dos

valores de referências, exceto o cromo nos domínios 4 e 13.

Na figura 4 é possível comparar os valores de teores máximos e os teores acima da média aritmética mais um desvio padrão ( $X + \sigma$ ) com os valores de referência em cada um dos 18 domínios. Ressalta-se que os teores máximos e  $X + \sigma$  de cromo são mais elevados que os de referência do nível 1 em quase todos os domínios e são maiores que o nível 2 nos domínios 5, 7 e 13.

A tabela 2, que lista a frequência de teores acima dos valores de referência e da média mais um desvio padrão ( $X + \sigma$ ), em cada um dos 18 domínios, corrobora com o gráfico da figura 4.

Quando a comparação é feita com os valores de referência do nível 1 estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004, tomados a partir do TEC (Threshold Effect

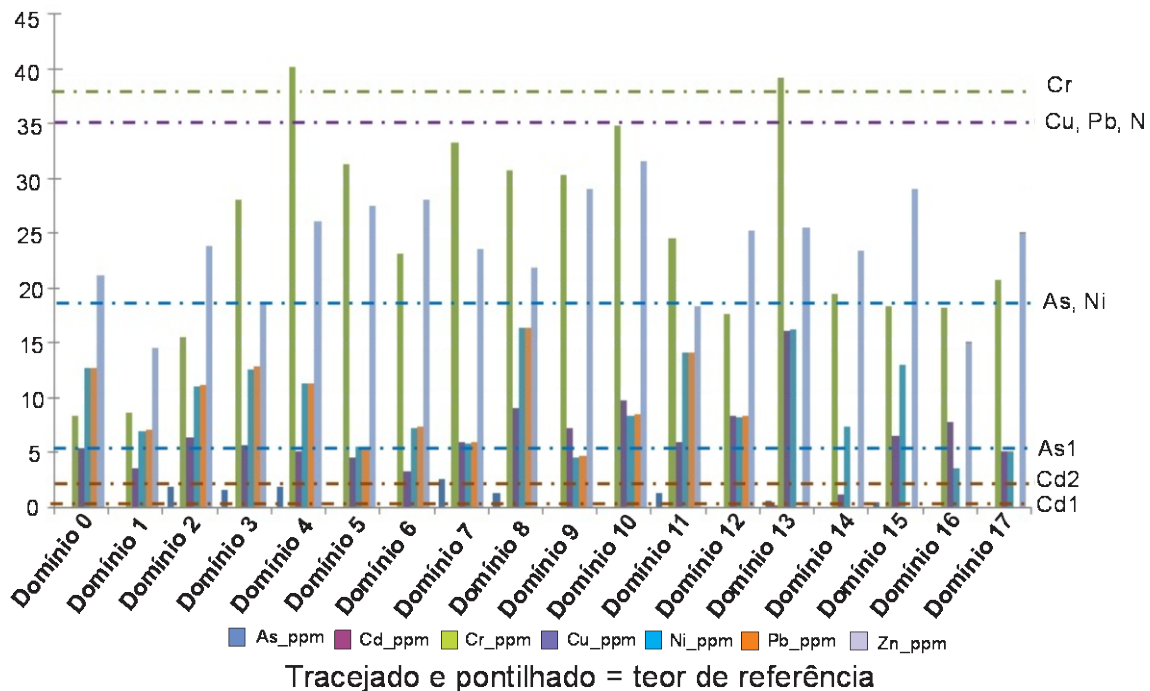


Figura 3 - Teores médios dos elementos químicos determinados em cada domínio homogêneo e seus respectivos valores de referência propostos pela resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004

Concentration de McDonald *et al.*, 2003), limiar a partir do qual o teor passa a ser preocupante à saúde. De outra forma podemos afirmar que nos casos em que os teores estejam acima dos valores de referência, o sedimento possui quantidades preocupantes do metal em questão. Este é o caso do arsênio que apresenta 3 dados de teor acima do

valor de referência no domínio 13, configurando aquela área numa região preocupante. Somando-se a isto se inclui, apesar dos cuidados tomados com a amostragem, transporte e análises, as questões peculiares do arsênio, que exigem cuidados especiais, sem os quais os teores de As são facilmente subdimensionados

Os valores anômalos geoquimicamente em relação à população de dados de cada domínio são aqueles acima da  $X + \sigma$ . Em alguns casos essas anomalias não são preocupantes em relação à saúde, pois estão abaixo daqueles valores de referência estabelecidos pela resolução do CONAMA, conforme a maioria dos casos

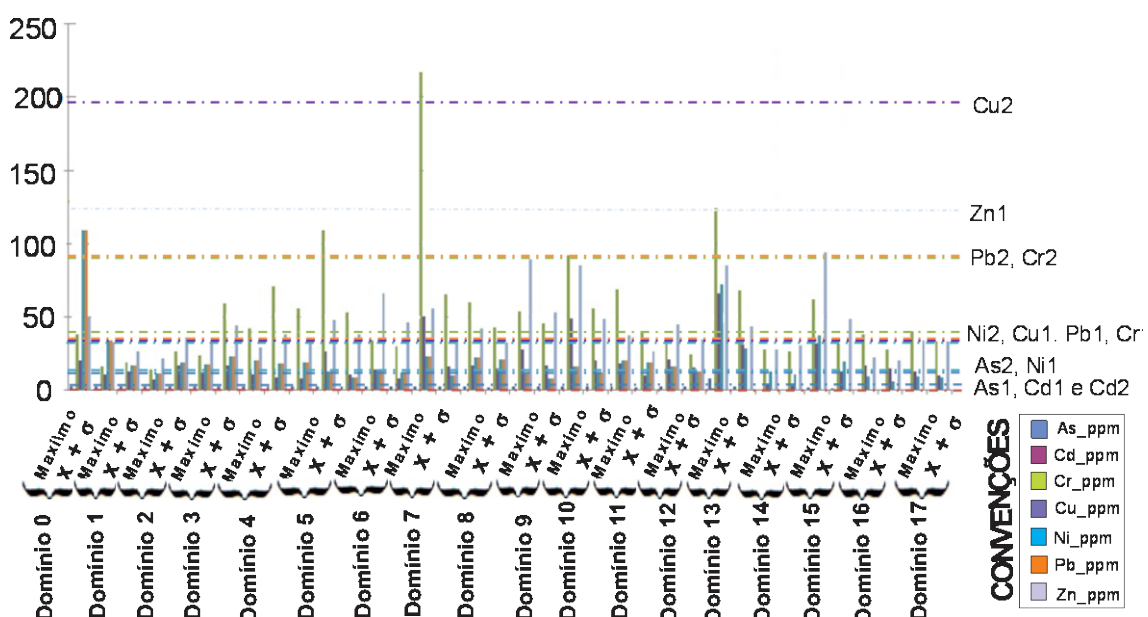


Figura 4 - Valores Máximos e seus desvios padrão dos elementos químicos determinados em cada domínio homogêneo e os respectivos valores de referência propostos pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004

TABELA 2 - Frequência dos Teores dos Elementos Químicos acima dos Valores de Referência(\*) e Frequência dos Valores acima da Média Aritmética mais um Desvio Padrão, determinados para cada Domínio Homogêneo

D		As_ppm	Cd_ppm	Cr_ppm	Cu_ppm	Ni_ppm	Pb_ppm	Zn_ppm
0	FREQ>REF	0	0	1	0	4	2	0
0	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	3	3	3	2	4
1	FREQ>REF	0	0	0	0	0	0	0
1	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	2	1	2	2	2
2	FREQ>REF	0	0	0	0	3	0	0
2	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	2	2	3	3	2
3	FREQ>REF	0	0	6	0	7	0	0
3	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	4	3	1	4	3
4	FREQ>REF	0	0	3	0	2	0	0
4	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	1	2	0	0	1
5	FREQ>REF	0	0	4	0	0	0	0
5	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	1	2	3	3	3
6	FREQ>REF	0	0	0	0	0	0	0
6	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	2	1	2	2	1
7	FREQ>REF	0	0	6	1	1	0	0
7	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	2	5	3	3	5
8	FREQ>REF	0	0	3	0	7	0	0
8	FREQ>X+ $\sigma$	3	0	2	4	1	2	3
9	FREQ>REF	0	0	5	0	0	0	0
9	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	3	2	2	2	2
10	FREQ>REF	0	0	24	3	0	0	0
10	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	10	9	7	7	7
11	FREQ>REF	0	0	6	0	7	0	0
11	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	6	4	3	3	6
12	FREQ>REF	0	0	0	0	0	0	0
12	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	1	1	3	2	1
13	FREQ>REF	3	1	26	9	22	0	0
13	FREQ>X+ $\sigma$	3	1	11	9	3	0	10
14	FREQ>REF	0	0	0	0	0	0	0
14	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	0	0	1	0	0
15	FREQ>REF	0	0	4	0	11	0	0
15	FREQ>X+ $\sigma$	10	0	9	7	6	0	6
16	FREQ>REF	0	0	1	0	0	0	0
16	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	3	3	1	0	3
17	FREQ>REF	0	0	1	0	0	0	0
17	FREQ>X+ $\sigma$	0	0	1	1	1	0	1

D = Domínio Homogêneo

(\*) Valores de Referência propostos pela Resolução CONAMA Nº 344, de 25 de Março de 2004.

segundo registrado na tabela 2. Em outros, todavia, o valor  $X + \sigma$  é maior que o valor de referência e, assim, a frequência de dados acima do valor de referência é maior que a frequência de dados acima do valor

de referência, como é o caso do Ni nos domínios 0, 3, 4, 8, 11, 13 e 15 e do Cr nos domínios 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10 e 13. O Níquel tem 90 amostras acima do valor de referência, ocorrendo este fato em 13 dos 18

domínios. Já o Cr tem 64 teores acima do nível 1 de referência, tendo este fato se repetido em 9 dos 18 domínios. O Cu encontra-se acima da referência nos domínios 7, 10, 13, o Pb só tem teor acima da

referencia no domínio 0 e o Cd só tem teor acima da referencia no domínio 13. O Zinco é o único elemento que se manteve abaixo do nível de referência indicado pela Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004 em todos os domínios.

O estudo realizado por Alba *et al.* (2008) em sedimentos corrente do vale da Ribeira(SP), sugere que os sedimentos de corrente são indicadores eficientes da presença de solos com seu padrão de qualidade alterado, principalmente quando envolvidas anomalias multivariadas expressivas.

## CONCLUSÃO

Na região de confluência dos Rios Piranhas e Seridó, abrangendo os municípios de Caicó, Timbaúba dos Batista e São Fernando, os metais As, Cd, Cr, Cu, Ni e Pb estão geodisponíveis em concentrações prejudiciais a saúde humana, conforme os valores de referência da Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004, do Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2002), de MacDonald *et al.* (2000), Mc Donald *et al.* (2003), da USEPA (2010) e do Wisconsin Department of Natural Resources (2003).

Dos elementos investigados o Zinco foi o único elemento com concentrações abaixo do nível de referência indicados por estas instituições.

No sedimento de corrente o Arsênio, o primeiro da lista dos mais perigosos da ASTDR (2014), se encontra acima do valor de referência na área que engloba uma sub-bacia de drenagem imediatamente a montante da sede do município de São Fernando e do açude que a abastece.

Os sedimentos ativos de corrente são apropriados para indicar a fonte e a área de dispersão de metais numa bacia hidrográfica, enquanto os sedimentos de fundo refletem uma mistura das porções geogênicas, biogênicas e

antropogênicas, incluindo a porção SAC presente entre aquelas geogênicas. A depender da participação de cada uma dessas porções no SF, a amostra pode refletir, mais fortemente, informações à montante da estação de coleta, ou dados “*in situ*”, ou ainda uma mistura indivisível de ambos.

Os valores de referência de metais pesados numa bacia hidrográfica não podem ser determinados pela simples comparação com aqueles valores indicados na Resolução CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004. Todavia, se considera esses valores pela absoluta ausência de referências mais apropriadas.

## REFERÊNCIAS

ALBA, José Maria Filippini, SOUZA FILHO, Carlos Roberto, FIGUEIREDO, Bernardino Ribeiro. Análise da assinatura geoquímica de solos e de sedimentos de corrente no Vale do Ribeira (SP) por meio de um sistema de informação geográfica. Revista Brasileira de Geociências José Maria Filippini Alba *et al.* 38(1): 66-77, março de 2008. **Revista Brasileira de Geociências** 38(1): 66-77, março de 2008

ASTDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) - **The Priority List of Hazardous Substances**. 2014. Disponível em <http://www.atsdr.cdc.gov/spl/>

BAY, Steven; GREENSTEIN Darrin; YOUNG, Diana. **Evaluation of Methods for Measuring Sediment Toxicity in California Bays and Estuaries**. Southern California Coastal Water. Research Project. Technical Report 503, March 2007.

CBSQG (2000) = MacDonald, D.D., C.G. Ingersoll, and T.A. Berger. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater

ecosystems. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 39:20-31. 2000 a.

CCME Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian **Environmental Quality Guidelines - Summary Tables**. 2002.

CRANE, J.L., MACDONALD, D.D.; INGERSOLL, C.G.; SMORONG, D.E.; LINDSKOOG, R.A.; SEVERN, C.G.; BERGER, T.A. and FIELD, L.J. Development of a framework for evaluating numerical sediment quality targets and sediment contamination in the St. Louis River Area of Concern. EPA 905-R-00-008. Great Lakes National Program Office. United States Environmental Protection Agency. Chicago, Illinois. 107 pp. + appendices. 2000.

CRANE Mark. **Proposed development of Sediment Quality Guidelines under the European Water Framework Directive: a critique**. Crane Consultants, Chancel Cottage, 23 London Street, Faringdon, Oxfordshire SN7 7AG, UK, Toxicology Letters 142 (2003) 195\_/206.

FLÜCK, R.; CAMPICHE, S.; CHÈVRE, N.; ALENCASTRO, F. DE; FERRARI, B.; SANTIAGO, S. **Use of sediment quality criteria for the assessment of sediment toxicity : Applicability to Switzerland**. First report in the Project “Assessment of Swiss sediment toxicity”. Centre Suisse d’écotoxicologie appliquée Eawag EPFL. August 2010.

LINS, Carlos Alberto Cavalcanti. **Manual Técnico da Área de Geoquímica da CPRM - versão 5.0**. Min. Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2003.

MACDONALD, D.D. and MACFARLANE, M.. 1999. (Draft). **Criteria for managing contaminated sediment in British Columbia**. British Columbia Ministry of



Environment, Lands, and Parks.  
Victoria, British Columbia.

MACDONALD, D. D., INGEROLL, C. G., BERGER, T. A. – Development and Evaluation of Consensus – Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. **Archives Environmental Contamination and Toxicology** 39, 20-31, 2000.

MACDONALD, D. D., INGEROLL, C. G., SMORONG, D.E.; LINDSKOOG, R.A.; SLOANE G.; BIERNACKI T. **Development and Evaluation of Numerical Sediment Quality Assessment Guidelines for Florida Inland Waters. Technical Report.** Prepared for: Florida Department of Environmental Protection, USA, 2003.

NOAA (1991) = Long, E.R. and L.G. Morgan. 1991. **The potential for biological effects of sediment-sorbed contaminants tested in the National Status and Trends Program.** NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52. National Oceanic and Atmospheric Administration. Seattle, Washington.

PEREIRA *et al.* Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos traço em sedimentos. **Química Nova**, Vol 30, n 5. 2007. P 1249-1255

ONTARIO (1993) = Persaud, D.R., R. Jaagumagi, and A. Hayton. 1993. **Guidelines for the protection and management of aquatic sediments in Ontario.** Standards Development Branch. Ontario Ministry of Environment and Energy. Toronto, Canada.

RESOLUÇÃO N o 344, DE 25 DE MARÇO DE 2004, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – **CONAMA**, disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res04/res34404.xml>.

RITTER, Kerry J.; BAY, Steven M.; SMITH, Robert W.; VIDAL-DORSCH,

Doris E. and FIELD L. Jay. **Sediment Quality Guidelines Based on Benthic Macrofauna Responses.**, NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle. Sediment quality guidelines based on benthic macrofauna responses, Integr. Environ. Assess. Manag. © 2011 SETAC

SIMPSON, Stuart L; BATLEY, Graeme E; CHARITON, Anthony A; STAUBER, Jenny L; KING, Catherine K; CHAPMAN, John C; HYNE, Ross V; GALE, Sharyn A; ROACH, Anthony C; MAHER, William A. **Handbook for Sediment Quality Assessment.** ISBN 0 643 09197 1 (CSIRO: Bangor, NSW), University of Canberra, 2005.

USEPA Ohio. **Guidance on Evaluating Sediment Contaminant Results.** Division of Surface Water. Standards and Technical Support Section. January 2010.

Wisconsin Department of Natural Resources, Box 7921 Madison, WI 53707 **Consensus-Based Sediment Quality Guidelines. Recommendations for Use & Application Interim Guidance.** December 2003, WT-732 2003

Recebido em: set/2012  
Aprovado em: jun/2014