

ÍNDICES DE CONTAMINAÇÃO DE METAIS TRAÇO EM ENCOSTAS, MANGUEZAIS E APICUNS, MADRE DE DEUS, BAHIA

Sara Ferreira BOAVENTURA, Gisele Mara HADLICH, Joil José CELINO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, UFBA. Avenida Barão de Jeremoabo, s/n. CEP 40170-290. Salvador, BA. Endereços eletrônicos: sarafb@gmail.com; gisele@ufba.br; joil@ufba.br

Introdução
Área de Estudo
Materiais e Métodos
Resultados e Discussão
Conclusão
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – Índices de contaminação podem ser utilizados para diferenciar a presença natural de metais e contaminações de origem antrópica no ambiente. Este trabalho objetivou identificar graus de contaminação por metais nos ambientes encosta, manguezal e apicum, em Madre de Deus. Além de análises estatísticas clássicas, foram determinados o Índice de Geoacumulação e o Grau de Contaminação Modificado para Cu, Zn, Cr, Ni, Fe e Mn em 45 amostras superficiais de solos e sedimentos. A área estudada foi dividida nos setores Fábrica de Asfalto – FA e Quitéria-Suape – QS. Não foi encontrada contaminação por Ni. O Cr apresentou contaminação moderada apenas no manguezal no setor FA. Os índices indicaram contaminação por Cu, Zn, Mn e Fe variável nos três ambientes. Ocorreu enriquecimento de metais sobretudo no setor FA. À exceção do Zn nos manguezais, não foram identificadas diferenças de contaminação entre os setores FA e QS pelo teste-T, o que mostra que os índices de contaminação fornecem melhor indicação do enriquecimento de metais no ambiente quando há grande variação nos dados. A proximidade da área com a foz do Rio Subaé, a circulação das águas, a deposição atmosférica regional e as atividades antrópicas locais parecem determinar as diferenças nos setores estudados.

Palavras-chave: índices de contaminação, metais traço, Baía de Todos os Santos.

ABSTRACT – *S.F. Boaventura, G.M. Hadlich, J.J. Celino - Pollution indicators of trace metal in hillsides, mangroves and salt flat areas, Madre de Deus, Bahia.* Pollution indicators can be used to distinguish the natural presence of metals and anthropogenic contamination of the environment. This study aimed to identify levels of metal contamination in hillsides, mangroves and salt flats in Madre de Deus municipality. In addition to statistical analysis, we determined the modified Degree of Contamination and the Geoaccumulation Index for Cu, Zn, Cr, Ni, Mn and Fe in 45 samples of surface soil and sediment. The study area was divided into the sectors “Fábrica de Asfalto” (FA) and “Quitéria-Suape” (QS). No Ni contamination was found. Cr showed moderate contamination only in mangrove in the FA sector. The indicators showed contamination by Cu, Zn, Mn and Fe in the three variable environments. Enrichment of these metals was founded especially in the FA sector. Except for Zn in the mangroves, the T-test did not show differences in contamination between the sectors. These results show that the pollution indicators provide a better indication of the enrichment of metals in the environment when there are great variations in the data. The proximity of the area with the Subaé River mouth, the water circulation, the regional atmospheric deposition and the local human activities seem to determine differences in the two sectors studied.

Keywords: pollution indicators, trace metal, Todos os Santos Bay.

INTRODUÇÃO

As áreas costeiras protegidas são formadas por ambientes diversos. Os manguezais são ambientes morfodinâmicos onde espécies vegetais e animais e componentes geomorfológicos associados a variações de maré, contribuem para os processos construtivos e erosivos que os configuram (Kjerfve & Medeiros, 1993; Schaeffer-Novelli et al., 2000; Lacerda et al., 2006). Situados principalmente entre manguezais e encostas, apicuns são encontrados em áreas litorâneas em inúmeros países (Lebigre, 2007; Duke, 2006; Marius, 1985). Os apicuns são áreas planas, despro-

vidas de vegetação devido à elevada salinidade ou acidez, localizados em regiões de supra-maré e com granulometria predominantemente grosseira (Ucha et al., 2005; Schaeffer-Novelli, 1999, Hadlich et al., 2008). A montante destes encontram-se as encostas. Estes ambientes apresentam diferentes condições físico-químicas e, portanto, diferente comportamento geoquímico dos elementos traço.

Regiões costeiras favorecem a implantação e o desenvolvimento de atividades humanas em suas proximidades, podendo ser observadas áreas de complexos

industriais e portuários e a expansão de atividades de turismo e do adensamento urbano. Os impactos ambientais associados a estas atividades vem, ao longo do tempo, degradando os ecossistemas locais em grande parte da faixa litorânea intertropical em todo o mundo (Hatje et al., 2006; Molisani et al., 2006; Wei, 2008; Nobil et al., 2010), o que inclui o enriquecimento dos ambientes com metais traço que, acumulados, podem se tornar biotóxicos.

As principais fontes antrópicas de inserção de metais no ambiente estão associadas ao uso de insumos na agricultura e pecuária, às emissões atmosféricas e aos rejeitos industriais, às emissões de motores veiculares e ainda à disposição de resíduos e efluentes urbanos. No ambiente, porém, a contribuição natural também deve ser considerada, pois o intemperismo das rochas locais e a erosão estabelecem níveis de *background* de metais em solos e sedimentos, os quais podem variar quando comparados ambientes similares localizados em diferentes domínios geológicos (Schiff & Weisberg, 1999; Liaghati et al., 2003; Ranjan, 2008). Desta forma, a dispersão e deposição de metais traço em solos e sedimentos está associada a fatores físicos, incluindo a topografia, direção dos ventos e escoamento superficial (Aloupi & Angelidis, 2001; Wong et al., 2006; Meireles et al., 2007), bem como à hidrodinâmica fluvial e marinha, principalmente em se tratando de manguezais (Schaeffer-Novelli, 2000;

Lacerda, 2006). A acumulação desses metais e a possibilidade de transferência estão sujeitas à quantidade de metais existente ou introduzida no sistema e ao seu comportamento geoquímico sob diferentes condições físicas, químicas e biológicas. Os manguezais, por exemplo, são reconhecidos como retentores de metais pois os complexos organometálicos ali formados são relativamente estáveis sob as condições caracteristicamente redutoras do manguezal (Lacerda, 1998; CRA, 2004). Assim, a variabilidade natural é consequência da heterogeneidade dos materiais geológicos, e a variabilidade devido à ação humana, por sua vez, depende de diversas fontes poluentes, o que dificulta a avaliação da contribuição antrópica em estudos sobre a presença de metais traço no ambiente. Esta contribuição pode ser avaliada a partir de índices de contaminação que estimam o acúmulo relativo de metais em relação a concentrações de ambientes não contaminados ou a valores de fundo (*background*), conforme citado por Christophoridis e outros (2009) para sedimentos marinhos.

Este artigo visa apresentar as concentrações e índices de contaminação de metais traço encontrados em manguezais, apicuns e encostas em Madre de Deus, região norte da Baía de Todos os Santos - BTS, Bahia. Serão analisados distintamente dois setores contíguos a fim de verificar a homogeneidade da distribuição dos metais na área de estudo.

ÁREA DE ESTUDO

A BTS, com 1.233 km², apresenta dez terminais portuários de grande porte, o que possibilita o desenvolvimento econômico da região. No entorno da BTS há um contingente populacional superior a três milhões de habitantes (Hatje & Andrade, 2009), e ocorrem 177,6 km² de manguezais e 10,6 km² de apicuns (Hadlich et al., 2008) localizados a jusante de encostas formadas sobre rochas sedimentares da Bacia do Recôncavo (Dominguez & Bittencourt, 2009; Lessa et al., 2000).

O norte da BTS chama atenção pelo fato de ter sido nessa região que ocorreu o início da exploração e produção de petróleo no Brasil, por volta de 1950, com a instalação da Refinaria de Mataripe, atual Refinaria Landulpho Alves – RLAM da Petróleo Brasileiro S.A.

– Petrobrás. Nesta porção norte, o município de Madre de Deus destaca-se pela elevada densidade demográfica (1.525,7 habitantes/ km²; IBGE, 2009) e pela presença de complexos industriais. Abriga o Terminal Almirante Álvares Câmara – Temadre (responsável pelo escoamento da produção da RLAM), a Fábrica de Asfalto, áreas de estocagem e armazenamento de derivados do petróleo e uma importante malha dutoviária (Pimentel, 2006).

A área específica de estudo compreende a parte norte do município de Madre de Deus (delimitada pelas coordenadas 541200-542300mE e 8592900-8591500mN, WGS-84), e foi dividida em dois setores: (A) Fábrica de Asfalto – FA e (B) bairros de Quitéria e Suape – QS (Figura 1).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas 45 amostras distribuídas nos três diferentes ambientes estudados: manguezal, apicum, encosta vegetada (Figura 1). As amostras, superficiais

(0-10 cm de profundidade), foram divididas em dois setores: “FA” nos entornos da Fábrica de Asfalto e “QS” que contempla os bairros Quitéria e Suape.

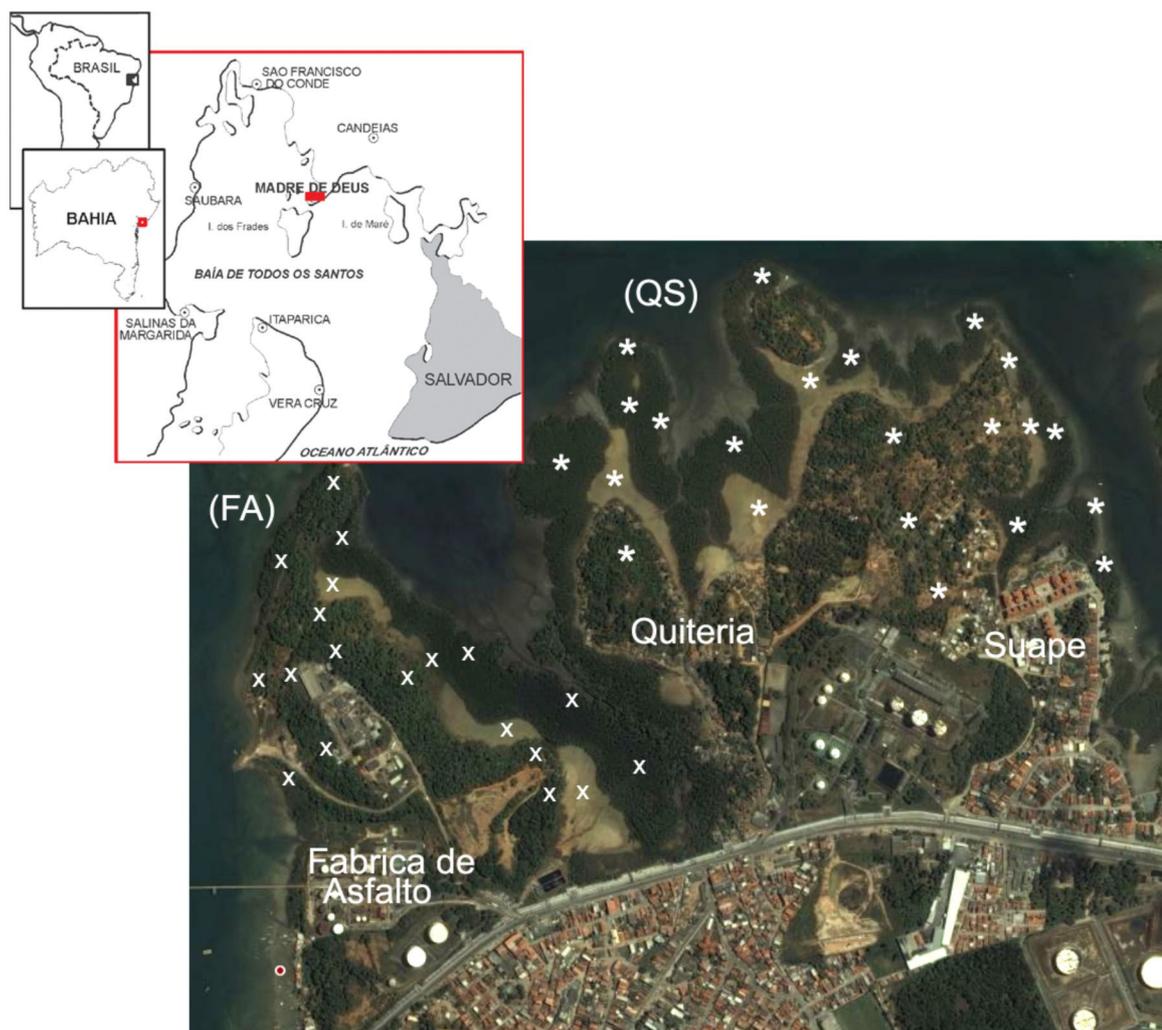


FIGURA 1. Localização do município de Madre de Deus, região norte da Baía de Todos os Santos, e recorte da área específica de estudo; setor (FA) - Fábrica de Asfalto (amostras “x”); setor (QS) - Quitéria-Suape (amostras *). Adaptado de Google Earth (12 dez. 2010.).

A campanha de coleta ocorreu em período seco (janeiro de 2010). Foi utilizado um GPS acoplado a uma câmera fotográfica (Ricoh Caplio 500SE) para registrar as coordenadas de cada ponto coletado. As amostras, com cerca de 200 gramas, foram armazenadas em embalagens plásticas e mantidas sob temperatura em torno de 4°C durante o transporte até o laboratório.

Em laboratório as amostras foram congeladas para posterior liofilização. Em seguida, o material foi desagregado, homogeneizado e peneirado a 250 mesh.

Foi medido o pH através do método de potenciometria utilizando pHmetro (modelo HandyLab1, SchottGlaswerkeMainz). A salinidade foi medida por meio do índice de refração, utilizando refratômetro portátil (Atogo S/Mill-E). A granulometria foi determinada com analisador de partículas com difração a laser (modelo Cilas 1064). O teor de nitrogênio total

(N-total) foi obtido através de análise realizada pelo método de Kjeldahl por via úmida (Embrapa, 1997) e o de carbono orgânico (C.O.) utilizando o método do dicromato de potássio (Walkey-Black, 1947).

Para determinação do teor de metais (Cu, Zn, Mn, Fe, Cr, Ni) foi realizada extração parcial das amostras em forno microondas utilizando ácido nítrico (HNO₃, 50%) (ASTM, 1996), o que possibilita identificar os metais biodisponíveis (Torres et al., 2008). Os reagentes possuíam pureza analítica. Após filtração do digerido, as amostras foram lidas utilizando Espectrometria de Absorção Atômica com Chama. Para o Cu, o limite de detecção - LDM e comprimento de onda foram, respectivamente, 0,35 mg Kg⁻¹ e 324,7 nm; para o Mn, 0,13 mg Kg⁻¹ e 279,5 nm; para o Zn, 0,47 mg Kg⁻¹ e 213,9 nm; para o Fe, 0,03 mg Kg⁻¹ e 372,0 nm; para o Cr, 2,50 mg Kg⁻¹ e 357,9 nm; para o Ni, 2,50 mg Kg⁻¹ e 232,0 nm.

Os resultados foram explorados estatisticamente utilizando o programa Statistica 7.0 (Statsoft Inc., 2004), considerando os três ambientes separadamente.

Utilizou-se dois índices (Abrahim & Parker, 2008; Christophoridis et al.; 2009):

- 1) o Grau de Contaminação modificado – *Degree of Contamination* – mCd , expresso por:

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_f^i}{n}$$

onde C_f^i equivale à relação entre o teor médio de metal detectado e o *background* do metal para a área em estudo, e n corresponde ao número de amostras consideradas;

- 2) o Índice de Geoacumulação – *Geoaccumulation Index* – I_{geo} , expresso por:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5B_n} \right)$$

onde C_n e B_n são, respectivamente, o teor e o *background* do metal na área de estudo.

Os índices de contaminação utilizados tomaram como referência (valores de *background*) estudos anteriores realizados sobre apicuns, manguezais e encostas distribuídos na BTS (Hadlich, 2008; Hadlich et al., 2010) que utilizaram a mesma metodologia para extração parcial de metais utilizada neste trabalho, garantindo assim a possibilidade de comparação dos valores encontrados. Destaca-se que os valores de *background* foram obtidos a partir de amostras coletadas em diversas profundidades, o que é desejável pois representa o produto de um longo período de deposição de sedimentos para o caso de manguezais (Abrahim & Parker, 2008; Christophoridis et al., 2009) e evita significativa influência de possíveis deposições atmosféricas em superfície.

Segundo os índices obtidos, os conjuntos de amostras podem obedecer a diferentes classes (Quadro 1).

QUADRO 1. Classes de contaminação ambiental segundo os índices mCd e I_{geo} .

mCd	Grau de Contaminação Modificado	I_{geo}	Índice de Geoacumulação
<1,5	sem contaminação ou muito baixo	<0	sem contaminação
1,5<2	baixo	0-1	sem contaminação a moderado
2<4	moderado	1-2	moderado
4<8	alto	2-3	moderado a alto
8<16	muito alto	3-4	alto
16<32	extremamente alto	4-5	alto a extremamente alto
>32	ultra-alto	>5	extremamente alto

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados médios dos ambientes manguezal, apicum e encosta, considerando os dois setores em conjunto (FA + QS), mostram que manguezal e apicum diferem significativamente (teste-t, $p < 0,05$) de encostas nos parâmetros pH (superior nos manguezais – média de 6,96 – e apicuns – 7,04 – devido à influência das águas marinhas) e granulometria (sendo mais grosseira no manguezal e no apicum e com textura mais fina nas encostas). Os teores de C.O. e de N-total são superiores nos manguezais (2,42% e 0,18%, respectivamente), estando acima dos valores encontrados nos apicuns (0,73% e 0,13%) e encostas (1,12% e 0,11%). Nos apicuns a elevada salinidade atua como forte dispersante e a ausência de vegetação contribui para as baixas concentrações de C.O. e de N-total. A salinidade,

muito baixa nas encostas (valor médio de 2,54) e intermediária nos manguezais (49,25), é muito elevada nos apicuns (98,0 em média) e é o único parâmetro que diferencia os três ambientes, constatando ser o mais indicado para diferenciá-los (conforme indicado por Hadlich et al., 2010).

Para o Ni todas as amostras apresentaram valores inferiores ao limite de detecção do método. Em relação aos demais metais, os valores médios encontrados em manguezais situam-se próximos ou nas faixas de valores contemplados por outros manguezais analisados na BTS (Queiroz & Celino, 2008).

Apenas o Mn e o Fe apresentaram diferença significativa (teste-T) entre manguezal e encosta, sendo que as encostas possuem concentrações superiores.

Destaca-se que material de origem predominante, Grupo Ilhas, é formado por sedimentos finos de origem fluviolacustre (Dominguez & Bittencourt, 2009), o que justifica uma granulometria mais fina nas encostas. Estas rochas, que geram solos autóctones, naturalmente apresentam maiores valores de metais que outras (CRA, 2004), como as rochas encontradas na porção sudoeste da BTS ou áreas drenadas pelo rio Subaé cuja foz está próxima a Madre de Deus. Isto pode justificar, em parte, a maior concentração de Mn e Fe nas encostas do que nos sedimentos de manguezal oriundos da dinâmica fluviomarina e, portanto, sedimentos parcialmente alóctones mais pobres naturalmente em Mn e Fe. Entretanto, fatores de origem antrópica devem ser considerados, haja vista o

reconhecimento da presença de fontes com grande potencial poluidor e os indícios de contaminação apontados por trabalhos anteriores (Mestrinho, 1998; Orge et al., 2000; Pletsch, 2002; Leão, 2004; Queiroz & Celino, 2008; CRA, 2008). É importante salientar que a BTS, principalmente a parte norte, é receptora da carga de compostos químicos atmosféricos resultantes das atividades antropogênicas do Recôncavo Baiano, destacando-se os oriundos do Pólo Petroquímico de Camaçari e Centro Industrial de Aratu - CIA (CRA, 2004). A hipótese de contribuição antrópica para os teores de Fe e, principalmente, de Mn encontrados, é corroborada quando se observa os valores obtidos para os dois setores separadamente, FA e QS (Tabela 1).

TABELA 1. Resultados analíticos (média e desvio padrão) encontrados na área de estudo, por ambiente (manguezal, apicum e encosta) e, em cada ambiente, por setor (QS – Quitéria-Suape; FA – Fábrica de Asfalto). Valores médios seguidos por letras diferentes, na mesma linha, diferem significativamente (teste-t, $p < 0,05$); n = número de amostras analisadas.

Parâmetro	MANGUEZAL (n = 24)				APICUM (n = 8)				ENCOSTA (n = 13)			
	QS	δ	FA	δ	QS	δ	FA	δ	QS	δ	FA	δ
pH	7,16	0,83	6,76	0,49	6,73	0,43	7,35	0,42	5,60	1,34	5,05	0,79
Salinidade	50,47	11,99	47,22	11,48	93,00	10,92	95,00	10,00	2,67	2,58	2,43	1,61
Ar grossa ¹ (%)	12,28	5,10	11,73	7,24	10,77	5,37	13,41	4,83	11,83	6,78	24,03	11,33
Ar fina ² (%)	69,92	10,00	60,71	18,27	76,35	7,72	76,05	12,87	61,94	9,35	39,61	16,24
Silte (%)	17,36	8,78	26,40	21,67	12,51	10,15	10,43	8,05	25,19	6,82	36,34	12,61
Argila (%)	0,43	0,38	0,88	0,97	0,38	0,44	0,12	0,12	1,06	0,53	1,42	0,58
N-total (%)	0,13	0,08	0,25	0,21	<LDM	-	<LDM	-	0,09	0,05	0,13	0,06
C.O. (%)	1,98a	1,06	3,15b	1,60	0,78	0,10	0,67	0,14	1,01	0,45	1,22	0,92
P (mg Kg ⁻¹)	71,06	73,68	136,29	100,59	19,73	16,27	59,80	34,06	35,40	72,59	19,21	79,23
Cu (mg Kg ⁻¹)	8,53	5,17	14,72	11,49	3,74	6,65	9,96	13,68	7,48	5,01	19,21	13,18
Zn (mg Kg ⁻¹)	13,93a	5,98	23,01b	14,87	9,24	6,69	12,09	10,49	10,19	5,03	37,47	54,04
Mn (mg Kg ⁻¹)	20,07	12,54	35,53	25,	13,17	12,08	222,22	399,92	45,22	19,20	164,52	173,91
Cr (mg Kg ⁻¹)	5,38	4,12	7,45	7,17	1,98	1,46	5,72	7,21	4,53	2,70	5,97	5,13
Fe (%)	0,53	0,28	0,75	0,48	0,36	0,40	1,19	1,70	0,89	0,46	0,99	0,73

¹ Inclui areia grossa e média (0,42-4,8mm). ² Inclui areia fina e muito fina (0,05-0,42mm)

Observando-se as médias dos dados analíticos obtidos, verifica-se que em FA a concentração desses metais é bem superior à QS, apesar de o teste-T não apontar diferenças significativas devido à grande variação dos dados obtidos.

Chama a atenção a elevada concentração e variação de Mn nos apicuns, mesmo que não haja diferença estatisticamente significativa entre estes e os manguezais. Os apicuns são formados por sedimentos oriundos das encostas (Ucha et al., 2005; Hadlich et al., 2008; Lebigre, 2007). Os processos erosivos carregam, juntamente com os sedimentos, os

metais Mn e também o Fe que, sob condições ora redutoras ora oxidantes, tendem a se “agrupar”. No caso do Fe, o mosqueamento produzido pela redução (Fe⁺², móvel) e oxidação de Fe (Fe⁺³, precipitado) foi constatado em campo durante a descrição de perfis (Hadlich et al., 2008).

Considerando os dois setores separadamente, FA e QS (Tabela 1), o teste-T evidencia diferença estatisticamente significativa somente para os parâmetros C.O. e Zn. Os manguezais no setor FA possuem maior teor de C.O. e de Zn que em QS.

Destaca-se que nenhuma correlação significativa

foi encontrada entre estes parâmetros nos ambientes estudados, seja considerando os setores separadamente, seja considerando-os em conjunto.

Apesar de a análise estatística não evidenciar diferença entre os setores para a maior parte dos metais, os índices de contaminação apontam diferenças importantes (Quadro 2).

Segundo esses índices, o Cr apresenta nenhuma contaminação ou muito baixa nos apicuns e encostas. Somente no ambiente manguezal no setor FA há contaminação “moderada” (com concentração média de 7,45 mg Kg⁻¹), melhor indicada pelo *mCd*. Estatisticamente,

porém, não houve diferença com o setor QS ou com os outros ambientes (apicum e encosta) (Tabela 1).

Para os demais metais os índices de contaminação mostram maiores diferenças nos ambientes e setores analisados.

O Zn, que é o único metal que apresenta diferença estatística entre os setores FA (concentração média de 23,01 mg Kg⁻¹) e QS (13,93 mg Kg⁻¹) no manguezal (Tabela 1), também apresenta diferença segundo o índice *mCd* (Quadro 2). Percebe-se, entretanto, que para os outros ambientes também há diferença segundo os índices utilizados, com maior contaminação em FA

QUADRO 2. Graus de contaminação segundo os índices I_{geo} (Índice de Geocacumulação) e *mCd* (Grau de Contaminação modificado) para metais nos setores QS (Quitéria-Suape) e FA (Fábrica de Asfalto), segundo os ambientes manguezal, apicum e encosta.

Ambiente-Índice-Setor		Cu	Cr	Zn	Mn	Fe	
Manguezal	<i>I_{geo}</i>	QS	1,57	0,22	0,71	0,35	0,20
			Moderado	Sem contaminação a moderado	Sem contaminação a moderado	Sem contaminação a moderado	Sem contaminação a moderado
	FA	2,35	0,69	1,44	1,18	0,70	
		Moderado a alto	Sem contaminação a moderado	Moderado	Moderado	Sem contaminação a moderado	
	<i>mCd</i>	QS	4,45	1,75	2,46	1,92	1,73
			Alto	Baixo	Moderado	Baixo	Baixo
FA	7,67	2,42	4,06	3,39	2,44		
	Alto	Moderado	Alto	Moderado	Moderado		
Apicum	<i>I_{geo}</i>	QS	-0,39	-1,76	0,12	-0,12	-0,88
			Sem contaminação	Sem contaminação	Sem contaminação a moderado	Sem contaminação	Sem contaminação
	FA	1,03	-0,23	0,51	3,95	0,84	
		Moderado	Sem contaminação	Sem contaminação a moderado	Alto a extremamente alto	Sem contaminação a moderado	
	<i>mCd</i>	QS	1,15	0,44	1,63	1,38	0,82
			Sem contaminação a muito a baixo	Sem contaminação a muito a baixo	Baixo	Sem contaminação a muito a baixo	Sem contaminação a muito a baixo
FA	3,06	1,28	2,13	23,22	2,69		
	Moderado	Sem contaminação a muito a baixo	Moderado	Extremamente alto	Moderado		
Encosta	<i>I_{geo}</i>	QS	1,43	-1,56	1,26	2,50	2,17
			Moderado	Sem contaminação	Moderado	Moderado a alto	Moderado a alto
	FA	2,79	-0,20	3,14	4,37	2,33	
		Moderado a alto	Sem contaminação	Alto	Alto a extremamente alto	Moderado a alto	
	<i>mCd</i>	QS	4,05	0,51	3,60	8,50	6,74
			Alto	Sem contaminação a muito a baixo	Moderado	Muito alto	Alto
FA	10,39	1,31	13,24	30,92	7,57		
	Muito alto	Sem contaminação a muito a baixo	Muito alto	Extremamente alto	Alto		

para *mCd* no apicum (“moderado” em FA e “baixo” em QS) e para ambos os índices na encosta (“alto” e “muito alto” para FA e “moderado” para QS). Numericamente, a concentração de Zn em FA na encosta (37,47 mg Kg⁻¹) é notoriamente superior ao setor QS (10,19 mg Kg⁻¹), porém esta diferença não aparece no teste de diferenciação de médias (Tabela 1).

Resultados semelhantes, com maior contaminação em FA que em QS, ocorrem também para o Cu em todos os ambientes (considerando pelo menos um dos índices utilizados), sendo mais evidente nos apicuns e encostas, porém sem diferenciação estatística. Na encosta, o *mCd* apresenta grau de contaminação “muito alto” e a concentração é de 19,21 mg Kg⁻¹.

Na BTS, o Zn possui um fator de enriquecimento maior no rio Subaé (Hatje et al., 2006) e o Cu aparece enriquecido em toda a BTS refletindo, segundo Hatje & Andrade (2009), a importância das fontes antrópicas difusas distribuídas nos entornos da baía.

Em todos os ambientes ocorre também maior contaminação por Mn em FA que em QS, sendo o único metal que apresenta a classe de grau de contaminação “extremamente alto”. O *background* de Mn é considerado relativamente alto na BTS devido à litologia (CRA, 2004, conforme citado anteriormente), porém há evidência, pelos índices de contaminação considerados, de uma acumulação desse metal em relação ao *background*. Tem sido registrado enriquecimento de Mn no rio Subaé (Hatje & Andrade, 2009) cuja foz está a noroeste de Madre de Deus. O fato de haver maior contaminação em FA também nas encostas, e não somente nos sedimentos superficiais

de manguezais, mostra que a origem do Mn não é somente via fluviomarinha, mas também atmosférica. A ocorrência de grau de contaminação “extremamente alto” em FA nos apicuns, em contraposição ao grau “sem contaminação” em QS, reforça a indicação de contaminação por via atmosférica, haja vista que os apicuns são áreas planas desprovidas de vegetação, o que facilita a deposição e acúmulo de poluentes em superfície.

O Fe apresenta igualmente maior contaminação em FA em manguezais e encostas, porém sem elevado grau de contaminação e sem importantes diferenças entre FA e QS (a diferença ocorre somente para *mCd* no manguezal). A contaminação é maior nas encostas, porém sem apresentar diferenças entre os setores.

Os resultados indicam influência da foz do rio Subaé e da circulação fluviomarinha sobre a distribuição e contaminação diferenciada nos manguezais dos setores FA e QS. Observando cartas de circulação de correntes da BTS (Lessa et al., 2009; 2001; Barroso Júnior, 2009), verifica-se que o setor FA recebe, antes de QS, águas do rio Subaé na maré vazante (de noroeste) e águas de sul-sudoeste, onde se situa o Temadre, na maré enchente.

Além disso, a localização da Fábrica de Asfalto no setor FA pode ser outro fator antrópico de contaminação superficial dos ambientes próximos, necessitando de maiores estudos para comprovação.

Em relação aos índices utilizados, observa-se uma coerência entre os dois utilizados, com poucas diferenças nos graus de contaminação para um mesmo ambiente e setor.

CONCLUSÕES

Índices de contaminação foram utilizados para avaliar o enriquecimento de metais em solos de encostas e em sedimentos de apicuns e de manguezais. Os resultados mostraram graus variando de não contaminado à contaminação muito ou extremamente alta segundo os ambientes e/ou setores analisados.

O Ni não foi detectado. O Cr apresentou enriquecimento apenas no manguezal no setor FA.

A literatura indica elevado *background* de metais devido às características das rochas, porém os índices de contaminação confirmam que há enriquecimento de Cu, Zn, Fe e Mn nos três ambientes estudados.

Destaca-se maior contaminação no setor FA (que em QS) nos manguezais para o Cr, Zn, Mn e Fe, e nos apicuns e encostas para Cu, Zn, Mn e Fe. Esta maior contaminação em FA possivelmente decorre de sua localização – maior proximidade com a foz do rio Subaé e com o Temadre que, associada à circulação fluviomarinha, favorece contaminantes atingirem antes FA do que QS – da circulação atmosférica – que propicia o deslocamento de poluentes do CIA e Pólo Petroquímico de Camaçari para a região norte da BTS – e da presença local de atividades industriais e portuárias – Fábrica de Asfalto e Temadre.

O índice *mCd* mostrou maior sensibilidade que o *Igeo*, indicando mais diferenças nos graus de contaminação entre os setores FA e QS (para Cr e Fe no manguezal, Zn no apicum e Cu na encosta). Os resultados apresentados por ambos os índices, contudo, são coerentes.

A utilização de índices foi, portanto, útil para identificar e diferenciar graus de contaminação entre localidades vizinhas. Estas diferenças não foram evidenciadas pelo teste-T (estatística clássica) que apontou diferença significativa somente para o Zn que apresenta maior concentração nos manguezais do setor FA, o que também foi observado através dos índices

de contaminação. É importante, portanto, utilizar diferentes técnicas para avaliar o possível enriquecimento de metais no ambiente.

Os resultados indicam, ainda, a importância do

planejamento da coleta de amostras em campo e a fragilidade de se inferir, a partir de poucas estações de amostragem, situações de contaminação para regiões mais amplas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro através do projeto “Disponibilidade de metais-traço na Baía de Todos os Santos: aplicação dos métodos Tessier e SVA-MES” (projeto 4493/2009).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAHIM, G.M.S. & PARKER, R.J. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 136, p. 227-238, 2008.
2. ALOUPI, M. & ANGELIDIS, M.O. Geochemistry of natural and anthropogenic metals in the coastal sediments of the island of Lesbos, Aegean Sea. **Environmental Pollution**, v. 113, p. 211-219, 2001.
3. ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards – 1996**. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials, 1996. Designation: D 5258 - 92 - Reapproved, 1996.
4. BARROSO JÚNIOR, V. **Metodologia para geração de cartas de correntes de maré em sistemas estuarinos e recintos portuários com aplicação na Baía de Todos os Santos, BA**. Rio de Janeiro, 2009. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
5. CHRISTOPHORIDIS, C.; DEDEPSIDIS, D.; FYTANOS, K. Occurrence and distribution of selected heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators. **Journal of Hazardous Materials**, v. 168, p. 1082-1091, 2009.
6. CRA – CENTRO DE RECURSOS AMBIENTAIS. Diagnóstico da concentração de metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo nos sedimentos e biota da Baía de Todos os Santos: diagnóstico da contaminação química. **Relatório Técnico**, v. II. Salvador: Consórcio BTS Hydros CH2M Hill, Governo do Estado da Bahia, 394 p., 2004.
7. CRA – CENTRO DE RECURSOS AMBIENTAIS. Inventário de atividades com potencial de contaminação/poluição e de produtos químicos na Baía de Todos os Santos. **Relatório Preliminar**. Salvador: Hydros Engenharia e Planejamento Ltda.; Governo do Estado da Bahia, 269 p., 2008.
8. DOMINGUEZ, J.M.L. & BITTENCOURT, A.C.S.P. Geologia. In: HATGE, V. & ANDRADE, J.B. **Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos**. Salvador: Edufba, p. 25-66, 2009.
9. DUKE, N. **Australia's mangroves: the authoritative guide to Australia's mangrove plants**. Brisbane: University of Queensland, 200 p., 2006.
10. EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPQ, 212 p., 1997.
11. HADLICH, G.M. **Mapeamento e caracterização de apicuns na Baía de Todos os Santos, Bahia**. Salvador: UFBA, 2008. (Relatório Técnico CNPq Processo 483733/2006-7).
12. HADLICH, G.M., CELINO, J.J., UCHA, J.M. Diferenciação físico-química entre apicuns, manguezais e encostas na Baía de Todos os Santos, nordeste do Brasil. **Geociências**, v. 29, n. 4, p. 439-447, 2010.
13. HADLICH, G.M.; UCHA, J.M.; CELINO, J.J. Apicuns na Baía de Todos os Santos: distribuição espacial, descrição e caracterização física e química. In: QUEIROZ, A.F. de S. & CELINO, J.J. (Orgs.), **Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos**. Salvador: Ufba, p. 59-72, 2008.
14. HATJE, V. & ANDRADE, J.B. Contaminação química. In: HATGE, V. & ANDRADE, J.B. (Orgs.), **Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos**. Salvador: Edufba, p. 19-22, 2009.
15. HATGE, V.; BARROS, F.; FIGUEIREDO, D.G.; SANTOS, V.L.C.S.; PESO-AGUIAR, M.C. Trace metal contamination and benthic assemblages in Subaé estuarine system, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, p. 969-987, 2006.
16. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Madre de Deus (2009)**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acessado em: 10abr2010.
17. KJERFVE, B. & MEDEIROS, C. Hydrology of a Tropical Estuarine System: Itamaracá, Brazil. **Estuarine, Coast and Shelf Science**, v. 36, p. 495-515, 1993.
18. LACERDA, L.D. Trace metals biochemistry and diffuse pollution in mangrove ecosystem. Okinawa: ISMR, **Mangrove Ecosystems Occasional Papers**, v. 2, p. 1-61, 1998.
19. LACERDA, L.D.; MAIA, L.P.M.; MONTEIRO, L.H.U.; SOUZA, G.M.; BEZERRA, L.J.C.; MENEZES, M.O.T. DE. Manguezais do nordeste e mudanças ambientais. **Ciência Hoje**, v. 39, n. 229, p. 24-29, 2006.
20. LEÃO, C.S. **Caracterização geoambiental de zonas manguezal da Baía de Aratu – Bahia – Brasil**. Salvador, 2004. 133 p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
21. LEBIGRE, J.M. **Les marais à mangrove et les tannes**. Disponível em: <http://www.futura-sciences.com/fr/print/comprendre/dossiers/doc/t/geographie/d/les-marais-a-mangrove-et-les-tannes_683/c3/221/p1/>. Acessado em: 01nov2007.
22. LESSA, G.C.; CIRANO, M.; GENZ, F.; TANAJURA, C.A.S.; SILVA, R.R. Oceanografia física. In: HATGE, V. & ANDRADE, J.B. (Orgs.), **Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos**. Salvador: Edufba, p. 69-119, 2009.
23. LESSA, G.C.; DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; BRICHTA, A. The tides and tidal circulation of Todos os Santos Bay, northeast Brazil: a general characterization. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 73, n. 2, p. 245-261, 2001.

24. LESSA, G.C.; LIMA, G.M.; CARVALHO, J.B.; OLIVEIRA, V. **Oceanografia física e geologia da BTS**, 2000. Disponível em: <<http://www.cpgg.ufba.br/~glessa/bts>>. Acessado em: 12jan2002.
25. LIAGHATI, T.; PREDA, M.; COX, M. Heavy metal distribution and controlling factors within coastal plain sediments, Bells Creek catchment, southeast Queensland, Australia. **Environment International**, v. 29, p. 935-948, 2003.
26. MARIUS, C. **Mangroves du Senegal et de la Gambie: ecologie – pédologie – géochimie, mise en valeur et aménagement**. Paris: Orstom, 1985. (Collection Travaux et Documents, 193).
27. MEIRELES, A.J. DE A.; CASSOLA, R.; TUPINAMBÁ, S.V.; QUEIROZ, L. DE S. Impactos ambientais decorrentes das atividades da carcinicultura ao longo do litoral cearense, Nordeste do Brasil. **Mercator**, v. 6, n. 12, p. 83-106, 2007. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/viewArticle/48>>. Acessado em: 17dez2010.
28. MOLISANI, M.M.; KJERFVE, B.; SILVA, A.P.; LACERDA, L.D. Water discharge and sediment load to Sepetiba Bay from an anthropogenically-altered drainage basin, SE Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 331, p. 425-433, 2006.
29. MESTRINHO, S.S.P. **Estudo do comportamento geoquímico dos metais pesados nos sedimentos da Região Estuarina do Rio Paraguaçu – Bahia**. São Paulo, 1998. 158 p. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrologia) – Universidade de São Paulo.
30. NOBI, E.P.; DILIPAN, E.; THANGARADJOU, T.; SIVAKUMAR, K.; KANNAN, L. Geochemical and geo-statistical assessment of heavy metal concentration in the sediments of different coastal ecosystems of Andaman Islands, Índia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 87, p. 253-264, 2010.
31. ORGE, M.D.R.; PORSCHÉ, I.J.; COSTA, M.C.; LIMA, J.S.; SOARES, S.E.D.; JUSTINO, R. Assesment of oil refinery waste on Rizphora mangle L. seedling srowth in mangroves of Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, v. 3, p. 471-477, 2000.
32. PIMENTEL, M.S. A influência da instalação do Terminal Almirante Alves Câmara nos índices socioeconômicos do município de Madre de Deus. **Cadernos NPGA**, Salvador, v. 3, n. 1, p. 1-22, 2006. Disponível em <<http://www.cadernosnpga.ufba.br>>. Acessado em: 28 jan2010.
33. PLETSCH, A.L. **Distribuição espacial de compostos orgânicos de estanho e metais em sedimentos costeiros e em Phallusia Nigra de áreas da Baía de Todos os Santos e Litoral Norte da Bahia**. Salvador, 2002. 216 p. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia.
34. QUEIROZ, A.F. & CELINO, J.J. Manguezais e ecossistemas estuarinos da Baía de Todos os Santos. In: QUEIROZ, A.F. de S. & CELINO, J.J. (Orgs.), **Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos**. Salvador: Ufba, p. 39-58, 2008.
35. RANJAN, R.K. & SINGH, G. Assessment of metal enrichments in tsunamigenic sediments of Pichavaram mangroves, southeast coast of India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 411, p. 147-389, 2008.
36. SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum**. São Paulo, 1999, 119 p. (Programa Nacional da Diversidade Biológica – Pronabio. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – Probio. Subprojeto Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Zona Costeira e Marinha.). Disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/workshop/costa/mangue/>>. Acessado em: 03abr2006.
37. SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRON-MOLERO, G.; SOARES, M.L.G.; DE-ROSA, T. Brazilian mangroves. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 3, p. 561-570, 2000.
38. SCHIFF, K.C. & WEISBERG, S.B. Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments. **Marine Environmental Research**, v. 48, p. 161-176, 1999.
39. STATSOFT INC. **Statística Versão 7.0**. Statsoft®, Tulsa (OK): USA. 2004.
40. TORRES, R.F.; LACERDA, L.D.; AGUIAR, J.E. Biodisponibilidade de Cu e Pb em sedimentos de um canal de maré afluyente do estuário do Jaguaribe – CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 3 / CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE OCEANOGRAFIA, 1, 2008, Fortaleza. **Resumos Expandidos...** Fortaleza: Associação Brasileira de Oceanografia, 4 p., 2008. Disponível em: <http://www.institutomilenioestuarios.com.br/pdfs/Paticipacao_Eventos/10_CBO2008/resumos/09.pdf> Acessado em: 12nov2010.
41. UCHA, J.M.; SANTANA, P.S.; GOMES, A.S.R.; BARRETO, E. DO N.; VILAS-BOAS, G. DA S.; RIBEIRO, L.P. Apicum: gênese nos campos arenosos e degradação dos manguezais em dois municípios baianos. **E.T.C. – Educação, Tecnologia e Cultura**, v. 3, p. 26-27, 2005.
42. WALKEY-BLACK, A. A critical examination of a rapid method for determining organic carbon m soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. **Soil Science**, v. 63, p. 251-263, 1947.
43. WEI, M.; YANWEN, Q.; BINGHUI, Z.; LEI, Z. Heavy metal pollution in Tianjin Bohai Bay, China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, p. 814-819, 2008.
44. WONG, C.S.C., LI, X.; THORNTON, I. Urban environmental geochemistry of trace metals. **Environmental Pollution**, v. 142, n. 1, p. 1-16, 2006.

*Manuscrito Recebido em: 17 de janeiro de 2011
Revisado e Aceito em: 17 de junho de 2011*