

## **CAPÍTULO XV**

---

### **CONCENTRAÇÕES DE METAIS E ASSINATURA ISOTÓPICA Pb/Pb NA COSTA VERDE (RJ) - REGIÃO ENTRE ANGRA DOS REIS E SEPETIBA**



# CONCENTRAÇÕES DE METAIS E ASSINATURA ISOTÓPICA Pb/Pb NA COSTA VERDE (RJ) - REGIÃO ENTRE ANGRA DOS REIS E SEPETIBA

Ariadne Marra de Souza<sup>1,2</sup>, Mauro Cesar Geraldês<sup>2</sup>, Bruno Saliba Almeida<sup>3</sup>,  
Bruno de Alcântara Cunha<sup>3</sup> e David S. Rocha<sup>2</sup>

## RESUMO

A área de estudo está compreendida na zona costeira entre os municípios de Angra dos Reis e Itaguaí no estado do Rio de Janeiro, especificamente nas baías de Ilha Grande e Sepetiba. Ambas as baías contêm diversas enseadas, penínsulas e ilhas com uma amplitude média das marés de 2,0 metros e apresentam um comportamento meteorológico particular. A circulação marinha bidirecional leste-oeste favorece a dispersão de sedimentos e de possíveis contaminantes que provenientes de diversos empreendimentos na região, além de contribuir com os processos de erosão e reconcentração nos sedimentos na área. A geologia regional da área compreende unidades do embasamento pré-Cambriano, corpos alcalinos Cretáceos e planícies litorâneas Quaternárias. O crescimento industrial acelerado e a ocupação do solo desordenada da região são responsáveis pelo lançamento de inúmeras substâncias tóxicas nos afluentes que deságuam no mar dentre os quais se destacam os metais pesados, visto isso, foram realizadas análises dos metais Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, U, V e Zn e de assinaturas isotópicas Pb/Pb em sedimentos de fundo dessas baías, por digestão química total com solução triácido. Os resultados indicam presença de concentrações de níquel e de zinco em todas as enseadas estudadas com valores significativamente acima dos valores naturais, dentre os quais se destacam as maiores concentrações na baía de Sepetiba, enquanto os demais metais apresentam maior importância enseada da Ribeira na baía da Ilha Grande, enseada esta onde se localiza os efluentes das usinas termoeletricas Angra I e Angra II. As assinaturas isotópicas ou razão isotópica

$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  apresentam um intervalo entre 1,163 e 1,626, onde as assinaturas mais radiogênicas ou seja, com as razões superiores a 1,200, foram observadas junto à costa. A dispersão desses elementos pode ter controles diversos, dentre eles a dinâmica da corrente marinha, a sedimentação com maior concentração nas frações argilosas e a localização dos empreendimentos industriais situados na região. Fato esse apoiado pela existência de zonas homólogas de concentrações de elementos, onde as maiores concentrações se localizam próximo à costa. Os resultados das assinaturas isotópicas indicam que, ao menos cinco fontes distintas fornecem metais às baías, ao qual se incluem fontes naturais e fontes de origem antrópica.

**Palavras-chaves:** Geologia ambiental; Geologia isotópica; Zona Costeira; Geoquímica, Poluição Marinha.

## ABSTRACT

The study area is comprised in the coastal area between the cities of Angra dos Reis and Itaguaí in the Rio de Janeiro state, main in Sepetiba and Ilha Grande bays. Both contains several coves, peninsulas and islands with an average tidal range of 2.0 meters and have a particular weather behavior. The two-way east-west marine circulations contribute to dispersion of sediments and possible contaminants from various developments in the area, and contribute either to the erosion processes and sediments reconcentration. The geology feature of the area comprises units of the Precambrian basement, Cretaceous alkaline bodies and Quaternary coastal

1 Universidade Federal do Espírito Santo – ariadne\_marra@oi.com.br, Depto de Geologia. Caixa Postal 16, Alto Universitário, Guararema – Alegre (ES). CEP 29500-000 – Brasil.

2 Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) – geraldês@uerj.br, davidrocha21@yahoo.com.br, Rua São Francisco Xavier 524, 4º Andar, Bloco A, Maracanã – Rio de Janeiro (RJ). CEP 20550-900 - Brasil.

3 Faculdade de Oceanografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) – almeidasalibabruno@gmail.com, alcantaracunha@gmail.com Rua São Francisco Xavier 524, 4º Andar, Bloco E, Maracanã – Rio de Janeiro (RJ). CEP 20550-900 – Brasil

plains. The rapid industrial growth and the disorderly occupation of land in the region are responsible for launching numerous toxic substances in the tributaries that flow into the sea among which stand out the heavy metals, as this, analyzes of Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, U, V and Zn were made even as isotopic signatures Pb / Pb in bottom sediments by total digestion by triacid solution. The results indicate the presence of concentrations of nickel and zinc in all coves studied with values significantly superior to the natural values, among which stand out the highest concentrations in the Bay of Sepetiba, while the other metals have greater importance of Ribeira cove in the bay Ilha Grande, this cove is located where nuclear power plants Angra I and Angra II effluents. Isotopic signatures and isotope ratio  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  have a range between 1,163 and 1,626, where the most radiogenic signatures ie, with more than 1,200 ratios, were observed along the coast. The dispersion of these elements can have several controls, including the dynamics of the marine current, sedimentation were the biggest concentration are in the clay and the location of industrial enterprises located in the region. A fact supported by the existence of homologous areas of concentrations of elements, where the highest concentrations are located near the coast. The results of isotopic signatures indicate that at least five different sources to provide metal to the bay, to which natural sources and anthropogenic sources are included.

**Key-word:** Environmental geology, Isotopic geology, Coastal, Geochemistry, Marine Pollution

## INTRODUÇÃO

A Costa Verde, região político-administrativa no sudoeste do estado do Rio de Janeiro, que abrange desde o município de Itaguaí até o município de Paraty, está localizada no mais importante entorno geoeconômico do Brasil e vem despontando como um dos polos industriais do Rio de Janeiro, onde sua porção oeste apresenta grande potencial turístico características ambientais particulares. O crescimento industrial acelerado e a ocupação do solo desordenada na região são responsáveis pelo lançamento de inúmeras substâncias tóxicas nos afluentes que deságuam no mar, tais como efluentes do complexo industrial com mais de 100 companhias de médio a grande porte de atividades industriais diversas, com especial destaque aos metais pesados (DE SOUZA LIMA et al., 2002).

A influência antrópica na zona costeira foi caracterizada por Pereira e Poço (2009) que relataram

um expressivo aumento no fluxo de carbono para os sedimentos, ao longo dos últimos 30 anos, provavelmente resultado da remoção da cobertura vegetal. Nesta região está instalada a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAEA) estando em funcionamento as usinas term nucleares Angra I e Angra II. O período citado é coincidente com o início das operações de Angra I, entre 1982 e 1985 (ELETRONUCLEAR, 2011), que influenciou na rápida ocupação da região. Atualmente está em fase de implantação a terceira usina term nuclear, denominada Angra III, onde segundo a ELETRONUCLEAR (empresa estatal responsável por sua instalação e funcionamento) esta iniciará suas atividades em 2018. A empresa afirma que 50% das obras necessárias estão concluídas.

Essa ocupação resultou em uso do solo de forma desordenada com aumento da concentração populacional em torno das sedes municipais, que não foi acompanhado dos devidos investimentos no setor de saneamento básico. Atualmente estima-se que esgotos domiciliares e comerciais lançados diretamente nos corpos d'água degradem a qualidade sanitária das águas locais. Conjuntamente, os diversos empreendimentos industriais e as usinas nucleares na região representam uma potencial influência ao ambiente marinho. Também estão instalados na região empreendimentos portuários que apresentam importante influência socioeconômica e ambiental na região (Figura 1).

O presente estudo busca a caracterização dos metais pesados e das possíveis assinaturas isotópicas Pb/Pb que apontem para contribuições de atividades antrópicas. Os metais pesados podem ser altamente tóxicos e o aumento de sua concentração na atmosfera e hidrosfera pode caracterizar uma poluição local com alto risco para todos os organismos. Em áreas industriais e em áreas portuárias, como é o caso da área de estudo, inúmeras são as fontes antrópicas que podem liberar poluentes para o ambiente, sendo grande a dificuldade de se distinguir essas fontes, bem como quantificar suas contribuições.

Busca-se, portanto, contribuir na compreensão da influência antrópica e o papel da dinâmica marinha na dispersão de possíveis poluentes. O controle da dispersão e da permanência de diversos elementos no ambiente marinho, sobretudo possíveis elementos radioativos, representa um desafio, ainda que ocorram em baixas concentrações, caracterizando-os como elementos ultra-traços. Essas concentrações tão restritas tornam difícil a mensuração desses elementos, uma vez que seus valores são abaixo dos teores de detecção da maior parte do equipamento analíticos.

Também é de grande importância a existência de usinas nucleares na região, pois embora as usinas sejam providas de reforçado sistema de segurança, os reservatórios de água naturais (no caso brasileiro a água do mar) são utilizados como mecanismo de resfriamento (GODOY, 2009). Essa troca térmica pode representar uma potencial influência ao ambiente marinho, como indicam trabalhos no mar do entorno da CNAAA e efluentes, influenciando, inclusive o fracionamento isotópico de hidrogênio (GOMES, 2010 e GOMES et al. 2014).

## OBJETIVOS

O objetivo do trabalho proposto é identificar contaminações de metais e suas fontes através de assinaturas isotópicas de chumbo (Pb), bem como sua abrangência.

Os elementos cobalto (Co), níquel (Ni) e urânio (U) foram escolhidos por serem produzidas durante o funcionamento das usinas nucleares, pois os isótopos  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{63}\text{Ni}$  e  $^{235}\text{U}$  apresentam razões próprias dessas usinas e diferentes das razões naturais; sendo, necessário identificar a concentração desses elementos a fim de auxiliar em futuras análises isotópicas e decisões gerenciais.

Por sua vez, Pb e zinco (Zn) foram utilizados em função do histórico de vazamento, dispersão e contaminação na região por esses metais. Os demais elementos (cádmio – Cd; cobre – Cu; cromo – Cr; manganês – Mn;

vanádio – V) foram escolhidos devido a sua estreita relação com atividades antrópicas, sobretudo as atividades relacionadas a indústrias e aos centros urbanos.

## ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se situa na Costa Verde do estado do Rio de Janeiro (Figura 1) e abrange desde o município de Angra dos Reis ao município de Itaguaí. Estes dois municípios são interligados pela Rodovia Federal – BR101 (Rio-Santos). Pode ser compartimentado em duas porções (leste e oeste), separado pelo canal da Ilha Grande. A porção oeste (baía de Ilha Grande) se estende desde o município de Paraty até o município de Angra dos Reis, onde estão situadas as enseadas (embora alguns autores as definam como baías) de Paraty, Ribeira e Angra dos Reis. A porção leste (baía de Sepetiba) se estende do município de Angra dos Reis até o município de Itaguaí, sendo a localidade enseadas de Sepetiba, Marambaia e Mangaratiba.

A CNAAA fica localizada no município de Angra dos Reis, na Praia de Itaorna cujo acesso se dá pela mesma rodovia. O resfriamento das usinas de Angra I e II é feito através da circulação de água do mar que, caso se contamine permitirá o acúmulo de radionuclídeos nos sedimentos a partir do ponto de descarte da água servida (aquecida em relação ao ambiente) no saco de Piraquara de Fora, na enseada da Ribeira (GODOY, 2009; GOMES, 2010).



Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo e as enseadas estudadas, com destaque as usinas (NPP) e ponto de descarga de efluentes (DP). Fonte: Modificado de Fundação CIDE (2013) e Gomes et al. (2011).

## GEOLOGIA

A província Mantiqueira foi formada durante a orogênese Brasileira, é caracterizada como um sistema orogênico de idade Neoproterozóico (HEILBRON et al. 2004). Divide-se em três segmentos: a) setentrional: Orógeno Araçuai; b) central: Orógenos, Apiaí e a porção sul do Orógeno Brasília; c) meridional: Orógenos Dom Feliciano e São Gabriel (HEILBRON et al. 2004). A Faixa Ribeira, por sua vez, se sub-divide em cinco terrenos tectono-estratigráficos descritos por Heilbron et al. (2004) e Eirado et al. (2006) como: *Klippe* Paraíba do Sul, Terreno Embu; Terreno Cabo Frio; Terrenos Ocidental e Oriental.

Na porção sul da Faixa Ribeira, onde está inserido no Terreno Oriental que é compartimentado em três Domínios Tectônicos distintos que, da base para o topo, são: Domínio Tectônico Cambuci, Domínio Tectônico Costeiro e *Klippe* Itavaia.

A área de estudo se localiza no Domínio Costeiro ao qual inclui duas associações metassedimentares intrudidas pelo Arco Magmático Rio Negro, além de outras intrusões graníticas mais recentes (HEILBRON; MACHADO, 2003), estes granitoides do estágio pré-colisional estão alojados nos Paragnaisses do Domínio Costeiro, que podem ter origem nas porções distais da margem passiva do Terreno Oriental em uma bacia retro-arco – Arco Rio Negro. As litologias que compõe esse Domínio serão responsáveis por fornecer os metais de origem natural conforme sua mineralogia (HEILBRON, 2007).

A geologia da área compreende unidades do embasamento pré-Cambriano, corpos alcalinos Cretáceos e planícies litorâneas Quaternárias. Os sedimentos Quaternários compõem planícies costeiras abrangendo sedimentos fluviais, de canais de maré e de mangue. Os sedimentos apresentam disposição que indica o alinhamento a estruturas rúpteis Mesozóicas ou Cenozóicas que devem ter orientado a evolução do relevo na região (PEREIRA, 1998).

## GEOMORFOLOGIA

A área de estudo é um corpo de água separado do mar aberto pela Ilha Grande, que se subdivide em dois corpos menores, a baía da Ilha Grande e a baía de Sepetiba, interligados pelo Canal Central da Baía de Ilha Grande (MAHIQUES 1987).

A baía da Ilha Grande tem 1125 km<sup>2</sup> de área e costuma-se dividi-la em duas partes – as enseadas de Paraty e de Angra dos Reis, e mais a enseada da Ribeira.

Por sua vez a baía de Sepetiba tem uma área de 520 km<sup>2</sup>, compartimentada em Sepetiba, Marambáia e Magaratiba.

A Ilha Grande divide ambas as baías apresenta altitude máxima de 1.031m, sendo uma área bastante montanhosa. Ocorrem formações sedimentares continentais, marinhas, lagunares e paludais de idades entre Pleistoceno e Holoceno (AMADOR, 1988), onde as mudanças paleoambientais, dentre elas variações do nível do mar e climáticas, são responsáveis pela construção da morfologia atual.

Na parte sul do litoral do município de Paraty as montanhas da Serra do Mar terminam diretamente no oceano, nesse trecho o fundo do mar contém, em sua maior parte, areia quartzosa. Na parte norte existe uma planície separando o mar das montanhas, onde as marés são mais altas e invadem a planície, originando uma vegetação típica de mangue.

Gomes et al. (2011) afirmam que o aporte de sedimento pode ter duas fontes, uma é da Ilha Grande e outra de escoamentos e deslizamentos das adjacências. Conjuntamente há interação entre os sedimentos das baías de Ilha Grande e Sepetiba.

O processo de erosão tem sido acentuado em função de diversas atividades antrópicas, ao qual se inclui construção de portos, dragagem de canais, desmatamento para urbanização (residência e comércio) e rodovias.

## CLIMA

Segundo Oliveira Júnior et al. (2010) a região apresenta um comportamento meteorológico particular, influenciados pela topografia, interação oceano-continente e atuação de sistemas de mesoescala. O regime de ventos é constante com velocidades acima de 0,36 m/s, direção predominante S-N e com maior instabilidade durante o verão, sobretudo no período entre 12 e 18h. O índice pluviométrico varia entre 343 a 734 mm, onde as épocas de estiagem estão compreendidas entre os meses maio e novembro e os meses de chuva entre os meses de dezembro e abril.

Os ventos definem a temperatura e a claridade da água: os ventos sul e sudoeste sujam e esfriam a água, enquanto os de leste e norte esquentam e limpam a água (GOMES, 2010). Por ser uma baía fechada, abrigada do mar aberto por várias ilhas e penínsulas que dificultam a circulação das correntes.

## DINÂMICA COSTEIRA

Guerra e Marques (2005) analisaram séries temporais coletadas em 1994 na região do Canal Central, e

observaram a presença de um padrão bidirecional (leste-oeste) das correntes, tanto em superfície como próximo ao fundo, com uma amplitude média das marés de 2,0 metros. No Canal Central, fundeios de curta duração (20 a 25 horas) documentaram eventos em que correntes dirigidas para oeste-noroeste são associadas a valores mais elevados de Material Particulado em Suspensão – MPS (GUERRA; SOARES, 2009).

Há diversos indícios de interação entre as baías da Ilha Grande e Sepetiba, entre eles a presença de frentes salinas na enseada de Mangaratiba, que é a principal conexão da baía de Sepetiba com o oceano Atlântico (MIRANDA et al. 1977), onde segundo Gomes (2010) a água salgada da plataforma continental, entraria na baía através da baía de Ilha Grande, circundando em seguida a Ilha Grande, para então entrar em contato com água com menor grau de salinidade, proveniente da baía de Sepetiba, retornando, ao oceano.

## MÉTODO

### COLETA DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO

As coletas foram realizadas ao longo da Costa Verde, nas baías, Sepetiba e Ilha Grande (enseadas de Sepetiba, Mangaratiba, Marambáia, Angra dos Reis e Ribeira). Foram coletadas amostras de sedimento de fundo entre os anos de 2009 e 2012, com aproximadamente 5 litros de volume, recorrendo-se a um amostrador Van Veen. As amostras foram coletadas com espaçamento regular de 1,5 x 1,5 km (Figura 1).

### PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório Geológico de Processamento de Amostras (LGPA) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), onde o material coletado passou por secagem em caixa de luz em temperatura média de 60°C, seguida da desagregação do material em um graal de porcelana a que se seguiu a recuperação das frações finas do sedimento (< 200mesh/0,075mm) através de peneiramento para as posteriores análises químicas.

### ANÁLISE QUÍMICA

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório ActLabs no Canadá, que apresenta certificação ISO17025, e foram submetidas a digestão total realizada utilizando

ácido nítrico, hidrocloreto, hidrófluorídrico e peroclorico.

Posteriormente foi aplicada a técnica analítica espectrômetro de massa por plasma acoplado indutivamente de alta definição (HR-ICP-MS) para as razões isotópicas com uso do padrão NIST981 para calibração ou ajuste das razões pelo conjunto de análise Code 10A e apresentou margem de erro de 0,05%.

A técnica digestão total por plasma acoplado indutivamente (TD-ICP) foi utilizado para as concentrações dos elementos Co, Cr, Cu, Mn, Ni, V e Zn com limite de detecção de 1 ppm (equivalente a 1 mg.L<sup>-1</sup>), Cd de 0,3 ppm, Pb de 3 ppm e U com limite de detecção de 10 ppm pelo conjunto de análise Code 1F2 e a margem de erro, obtida por sistema de duplicata, está entre 0,5% a 12%, mas podendo atingir 15 a 20% nos elementos Pb e Cd, respectivamente.

Também foram utilizados “brancos” cujos valores obtidos ficaram abaixo do limite de detecção em todos os elementos.

As razões isotópicas <sup>208</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb e <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb obtidas em análises acima referidas serviram para o cálculo das razões <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb, aplicados para identificar as fontes de metais, onde ambos isótopos são produtos finais de decaimento nas séries radioativas do urânio (<sup>238</sup>U e <sup>235</sup>U, respectivamente).

## GEOPROCESSAMENTO

Os mapas produzidos foram elaborados em ambiente GIS (ArcGis® versão 10.2), com georreferenciamento dos pontos amostrados, permitindo construção de perfis e tabelas a partir do banco de dados, onde os dados obtidos foram correlacionados e reinterpretados relativamente aos dados publicados por Rocha (2011) e Morales (2012). Para representação das concentrações de metais, foram utilizados histogramas e compartimentadas as concentrações em grupos, conforme sua moda, através da aplicação de isolinhas.

Os dados de assinatura isotópica foram trabalhados segundo sua distribuição espacial, e divisão de classes a partir da relação com um gráfico de dispersão (<sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb x Amostra) permitindo a visualização dos domínios de assinaturas isotópicas. Tanto as assinaturas, quanto as concentrações os mapas gerados foram convertidos em *raster*, para melhor representação da dispersão de concentrações.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram trabalhados sob o viés estatístico

utilizando planilha Libre Office® versão 3.4, na qual se obteve dados de média, desvio padrão e coeficiente de variação, representados em gráficos de dispersão e coluna, conforme o objetivo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### CONCENTRAÇÕES

As maiores concentrações de metais se encontram, preferencialmente, mais próximas às áreas emersas e,

nas áreas de maior circulação de corrente marinha, são observadas as concentrações mais baixas. As variações entre o máximo e mínimo nas concentrações de metais são inexpressivas para o elemento cobalto com variâncias não maiores que 10, significativas para os elementos chumbo e níquel cuja variância varia entre uma a duas ordens de magnitude e bastantes elevadas para o elemento zinco cuja variância ultrapassa os valores de 200 mil. O urânio, por sua vez, apresenta teores variáveis entre 20 mg/kg e níveis abaixo do limite de detecção com variância igualmente baixa (Tabela I).

Tabela I - Concentrações máximas e mínimas na Costa Verde por enseada dos elementos Co, Ni, Pb, U e Zn e suas respectivas variâncias

Baía	Ribeira (mg/kg) N = 56			Angra dos Reis (mg/kg) N = 66			Mangaratiba (mg/kg) N = 67			Marambáia (mg/kg) N = 66			Sepetiba (mg/kg) N = 91		
	Máx.	Mín.	Var.	Máx.	Mín.	Var.	Máx.	Mín.	Var.	Máx.	Mín.	Var.	Máx.	Mín.	Var.
Cobalto	14	5	6	14	3	4	14	0	10	13	0	8	15	0	10
Chumbo	35	10	28	47	8	65	33	3	46	35	5	36	78	1	43
Níquel	44	7	112	31	5	34	68	2	127	29	0	65	51	2	68
Urânio	20	0	9	20	0	6	20	0	34	10	0	1	0	0	0
Zinco	106	29	475	348	28	2183	196	13	1501	478	19	10720	3440	17	217597

Não foram observadas altas concentrações ou variações do teor de cádmio (Tabela II) apresentando significância apenas na enseada de Sepetiba, mas as concentrações, bem como a variação entre o máximo e

mínimo de manganês, são bastante elevadas, chegando a valores extremos na baía da Marambaia e cuja variância atinge valores maiores que 150 mil. Cobre, cromo e vanádio variam entre uma a duas ordens de grandeza quanto às concentrações, contudo a variância de cobre pode atingir a ordem de 10 mil.

Tabela II. Concentrações máximas e mínimas na Costa Verde por enseada dos elementos Cd, Cr, Cu, Mn e V e suas respectivas variâncias

Baía	Ribeira (mg/kg) N = 56			Angra dos Reis (mg/kg) N = 66			Mangaratiba (mg/kg) N = 67			Marambáia (mg/kg) N = 66			Sepetiba (mg/kg) N = 91		
	Máx.	Mín.	Var.	Máx.	Mín.	Var.	Máx.	Mín.	Var.	Máx.	Mín.	Var.	Máx.	Mín.	Var.
Cobalto	14	5	6	14	3	4	14	0	10	13	0	8	15	0	10
Chumbo	35	10	28	47	8	65	33	3	46	35	5	36	78	1	43
Níquel	44	7	112	31	5	34	68	2	127	29	0	65	51	2	68
Urânio	20	0	9	20	0	6	20	0	34	10	0	1	0	0	0
Zinco	106	29	475	348	28	2183	196	13	1501	478	19	10720	3440	17	217597



Os elementos acima referidos constituem um fundo geoquímico natural no meio sedimentar, ocorrendo como incorporados em estruturas minerais, adsorvidos superficialmente ou em forma iônica solúvel. As fases minerais portadoras destes elementos, em forma de traços e que constituem as principais fases minerais do arcabouço geológico da região são: biotita (Co, Cu, Cd, Ni, Sr, V e Zn); granada (Cu e Sr); hornblenda (Pb, Cr, Co, Cu, Ni, Sr, V e Zn); ortoclásio e microclina (Pb e Sr); piroxênio (Pb, Cr, Co, Sr e V); plagioclásio (Cu e Sr); e zircão (Pb e U). Entre as fases adsorventes destacam-se os óxidos de Fe, argilas e óxidos de manganês.

As fontes antrópicas podem, por sua vez, serem as indústrias petroquímicas, metalurgias, siderurgias, portos e efluentes urbanos (tais como esgoto) sendo que todas essas fontes estão presentes na Costa Verde.

A média das concentrações de urânio é inferior a 1 mg/kg (Figura 2), e diversas amostras apresentam concentrações abaixo do limite de detecção. Para fins de representação, as concentrações de urânio foram subdivididas em apenas cinco intervalos (diferentemente dos demais metais), devido às baixas concentrações e intervalos em toda a Costa Verde (Figura 3).

Esse elemento foi encontrado em concentrações mensuráveis próximos a costa. A proximidade com as áreas continentais pode ter relação direta com a litologia, pois o urânio tem maior afinidade com rochas granitóides, embora não possam ser descartadas as fortes influências de empreendimentos industriais na área representada, sobretudo na região de Mangaratiba. Na enseada da Ribeira é importante notar que as maiores concentrações estão na margem oposta a Pirapora de Fora - área do efluente das usinas. As concentrações são compatíveis com a média da concentração de urânio no ambiente marinho, entre 10 e 30 mg/kg (FORTEESCUE 1980).

Embora em ambiente exógeno o urânio seja muito móvel, a enseada de Sepetiba não apresenta concentração de urânio detectáveis, sendo assim supõe-se que não há fornecimento mensuráveis desse elemento para o ambiente nem por meios antrópicos nem por meios naturais, uma vez que, os resultados são referentes à digestão total da amostra. Também não foram identificadas fases minerais/sedimentares portadoras desse elemento, sendo preferencialmente amostras quartzosas em fração areia, o que tornando as condições do meio, desfavoráveis à sua concentração.

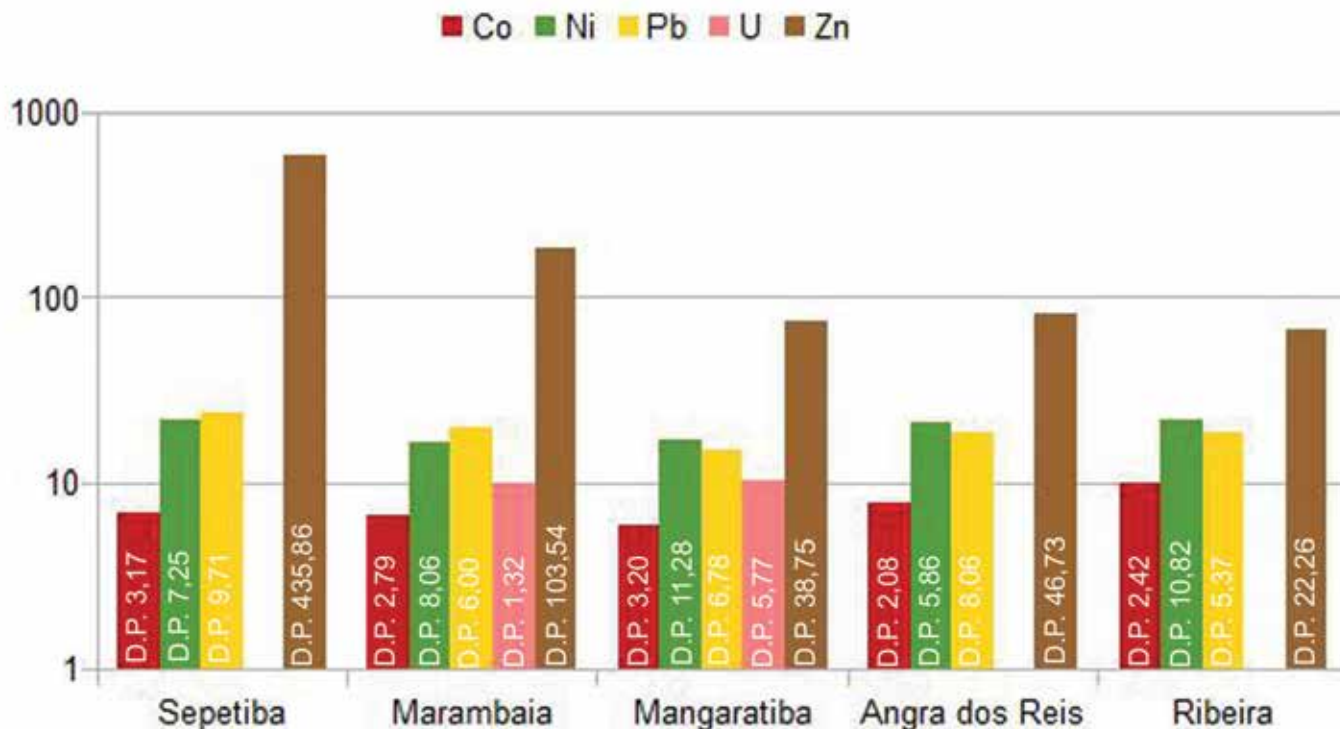


Figura 2 – Média das concentrações de Co, Ni, Pb, U e Zn nas enseadas em estudo com seus respectivos desvios padrão (D.P)

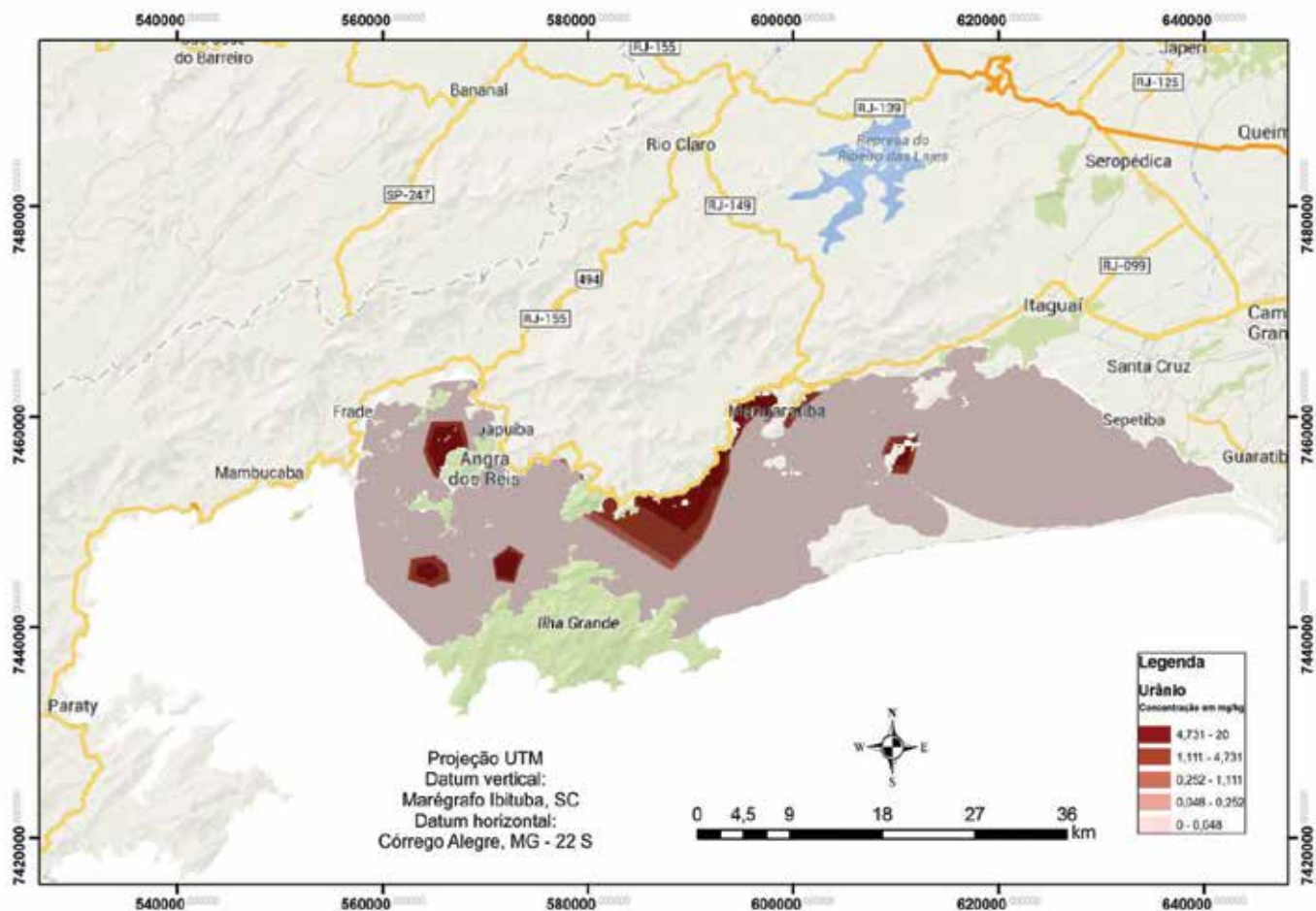


Figura 3 - Mapa de concentração e distribuição espacial de urânio (mg/kg)

Por sua vez, a média das concentrações de zinco é maior na baía de Sepetiba (Figura 2), região caracterizada pela ocorrência de vazamentos de indústrias e onde, acredita-se, esse elemento seja ainda manipulado, havendo baixa dispersão para as demais baías. Embora a média geral da baía de Sepetiba seja três vezes maior, a região da Marambaia apresenta histórico mais marcante de vazamento de zinco.

Esses dois elementos (U e Zn), além de apresentarem grande diferença entre as diferentes baías (coeficiente de variação 92% - U e 111% Zn), são os que apresentam maior relevância, por serem os principais indicadores dos impactos ambientais no meio. O urânio terá relevância nas enseadas da baía de Ilha Grande, uma vez que a CNAAA está localizada nessa baía e tem seu funcionamento calçado na utilização de elementos combustíveis a urânio, ainda que Pereira e Poços. (2009), através de assinatura

isotópica de urânio, tenham concluído que o urânio presente na água do mar da região de Angra dos Reis é de origem natural.

Como a baía não está encaixada em nenhum terreno que tenha concentrações elevadas de zinco ou mineralizações conhecidas assume-se que essas concentrações têm origem, predominantemente, antrópica. Por esta razão, é possível observar que as maiores concentrações se encontram no “fundo” da baía de Sepetiba (Figura 4). Isso se deve tanto à baixa circulação nessa baía como pela solubilidade do zinco. À exceção da enseada da Ribeira, as concentrações obtidas nas demais enseadas têm concentração muito superior à média do ambiente marinho, que, segundo Fortescue (1980), gira em torno de 100 mg/kg.

O zinco, quando em sua forma primária, a exemplo de sulfetos de zinco (esfalerita) tende a acompanhar os

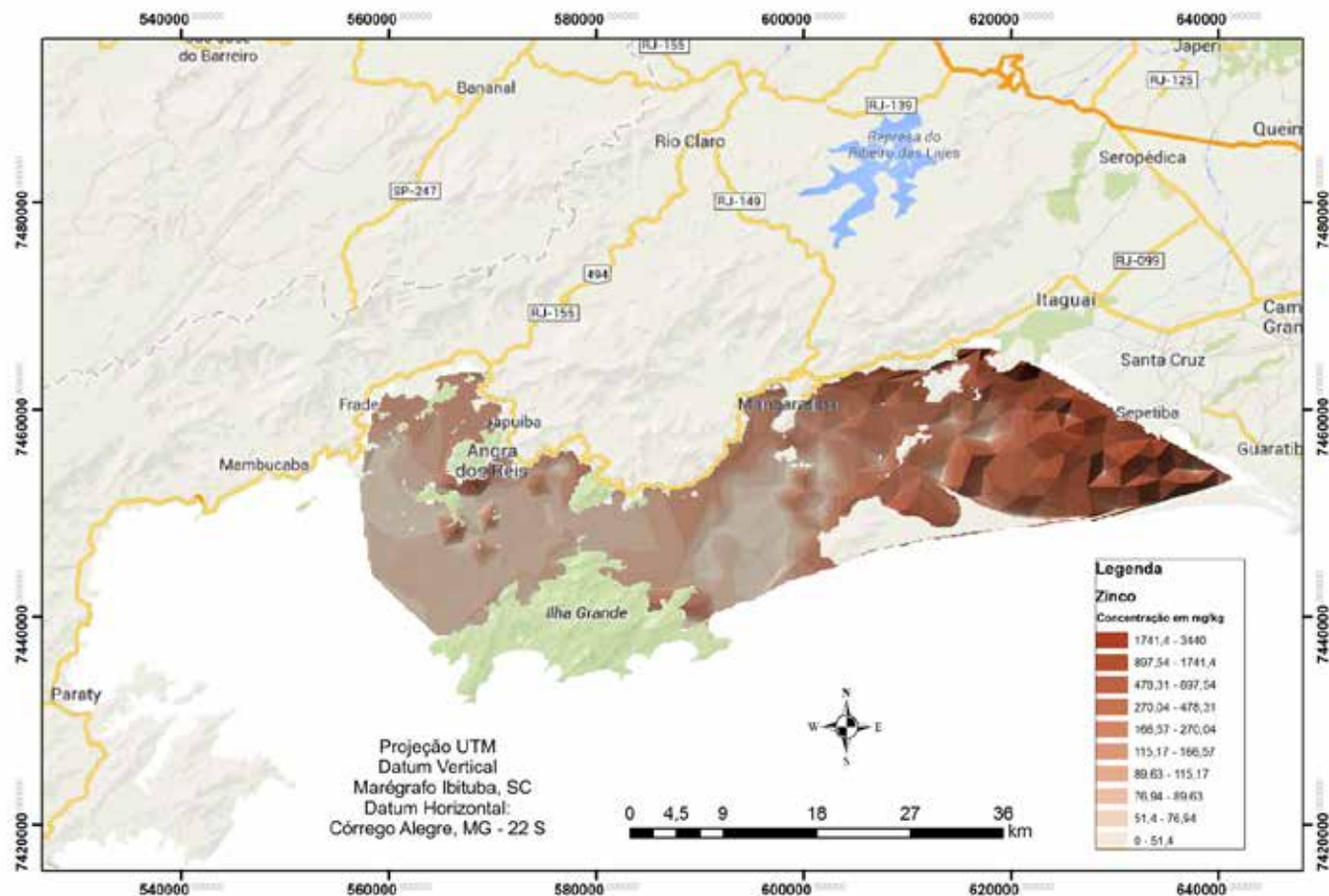


Figura 4 - Mapa de concentração e distribuição espacial de zinco (mg/kg)

metais como Co, Cu e Cd. Sendo assim, as concentrações de cobalto podem indicar que parte dessas concentrações, embora muito pequena, tenha relação com fases minerais de zinco.

Neste contexto o cádmio tem forte afinidade com o enxofre o que poderia favorecer sua acumulação junto ao zinco, contudo segundo Goldschmit (1958) normalmente, forma complexos estáveis, o que justifica as baixas concentrações e variações encontradas.

Outro metal que pode se associar ao zinco é o vanádio, cuja precipitação se dá pela presença de agentes redutores, como matéria orgânica e concentração local de cátions de outros metais que podem formar componentes insolúveis com ânions de vanádio. É um elemento que também se associa ao chumbo e ao cobre e se acumula em ambientes confinados com baixa circulação de oxigênio (GOLDSCHMIDT, 1958) Sendo assim se espera que o comportamento desse grupo de elementos seja

equivalente, sobretudo quanto a sua dispersão, embora seja um elemento com menor concentração natural em ambiente marinho, cuja concentração está entre 10 e 20 ppm (FORTESCUE, 1980).

As concentrações de chumbo ao longo da Costa Verde (Figura 5) apresentam comportamento mais homogêneo, onde as maiores concentrações estão próximas à costa, principalmente na costa da cidade de Angra dos Reis. O chumbo pode ser concentrar por despejo de esgoto, conforme relatado por Gioia et al. (2006) e Moura et al. (2004), sendo assim as concentrações obtidas podem ter correlação com essa fonte em particular, além do background natural em que sua concentração em ambiente marinho pode variar entre 0,3 a 50 mg/kg, de acordo com sua fonte (FORTESCUE, 1980).

Esse processo de fixação é favorecido pelo fato do chumbo, assim como o níquel, tende a ser insolúvel nas condições pH entre 5 e 8 e Eh por volta de 0,2,

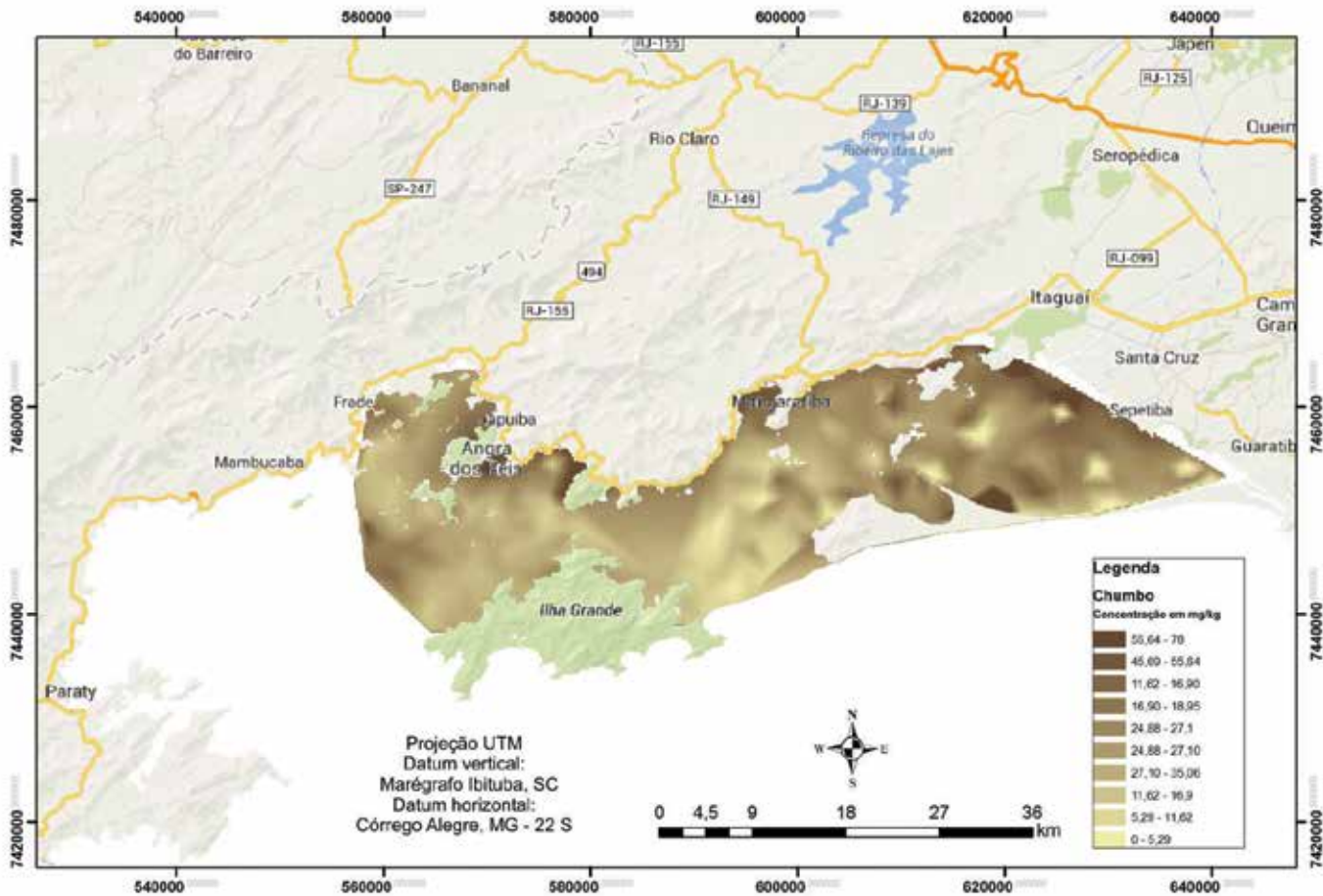


Figura 5 - Mapa de concentração e distribuição espacial de chumbo (mg/kg)

condições consideradas comuns em águas superficiais. Desta maneira, tem preferência para formar complexos e se fixar próximo às áreas fontes, sobretudo quando de origem natural conservados em sua matriz mineral. Também pode formar associações com uranatos e cromatos, resultando em correlações significativas com urânio e cromo (SOUZA, 2011).

Embora as concentrações de urânio sejam muito pontuais na enseada da Ribeira, as concentrações dos metais cobalto e níquel (Figura 6 e Figura 7) são elevadas nessa enseada. Especial atenção deve ser dada a esses elementos devido ao fato de seus isótopos ( $^{63}\text{Ni}$  e  $^{60}\text{Co}$ ) segundo a IAEA (2009) estão associados ao bombardeamento da chuva de nêutrons do reator na planta de usinas termonucleares – contudo, apenas o estudo desses isótopos poderá confirmar ou refutar tal contribuição.

Utilizando esse dois elementos como referência, onde é possível equiparar os dados de concentrações obtidos por Rocha (2011) aos do presente estudo – o autor

encontrou os valores entre 1 e 15 mg/kg para cobalto e 1 e 51 mg/kg para níquel, e os valores das assinaturas isotópicas encontradas em ambas as baías –, é possível supor que exista mútua troca entre ambas as baías, sobretudo na porção de interface – ou seja, na enseada de Mangaratiba.

O níquel tem concentração nos sedimentos marinhos variando entre 50 e 100 mg/kg, enquanto o cobalto apresenta concentrações muito baixas, entre 0,9 e 0,3 mg/kg (FORTEESCUE, 1980), indicando que os resultados apontam para um enriquecimento de cobalto na área em estudo.

Outra área que apresenta maior concentração de níquel é a área de circulação que recebe contribuição das enseadas de Angra dos Reis, Ribeira e do canal da Ilha Grande, onde além dessa circulação, existe importante sedimentação da fração argila nessas áreas que contribui para a adsorção da maioria dos elementos analisados.

Os elementos cobalto, chumbo e níquel apresentam certa homogeneidade quanto a suas concentrações, sem

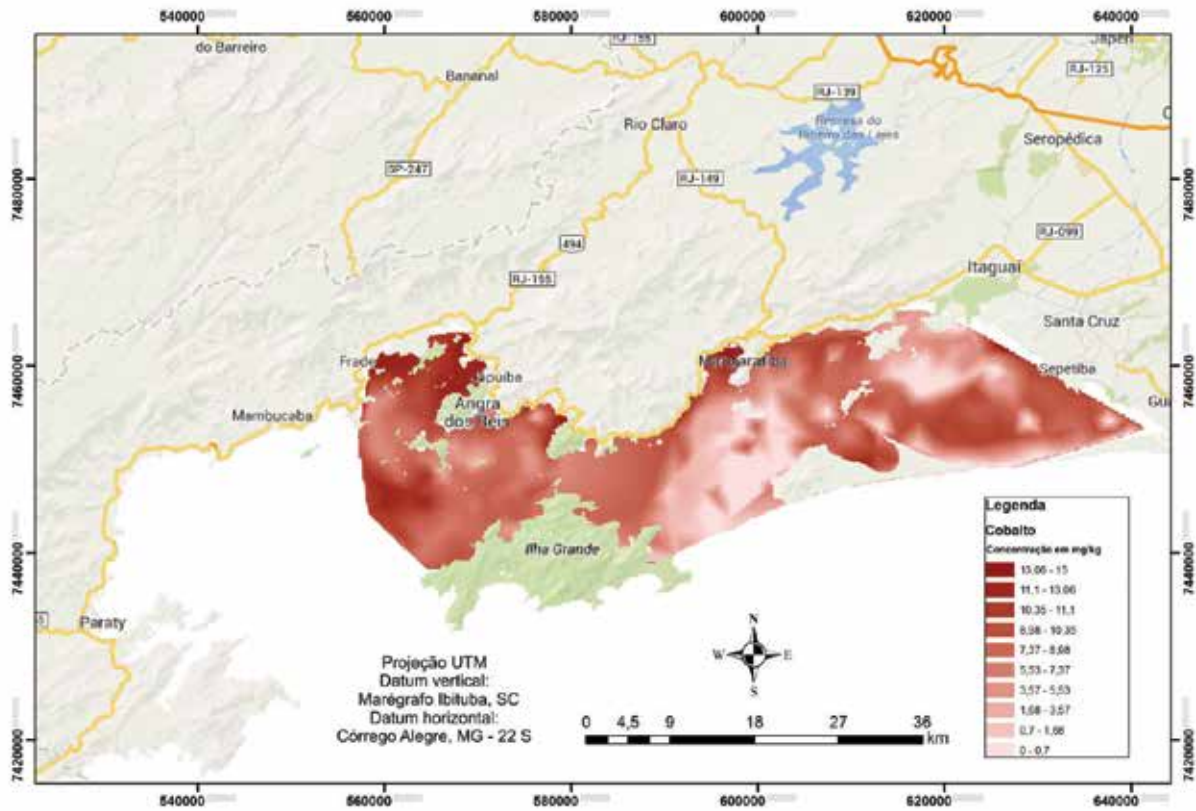


Figura 6 - Mapa de concentração e distribuição espacial de cobalto (mg/kg)

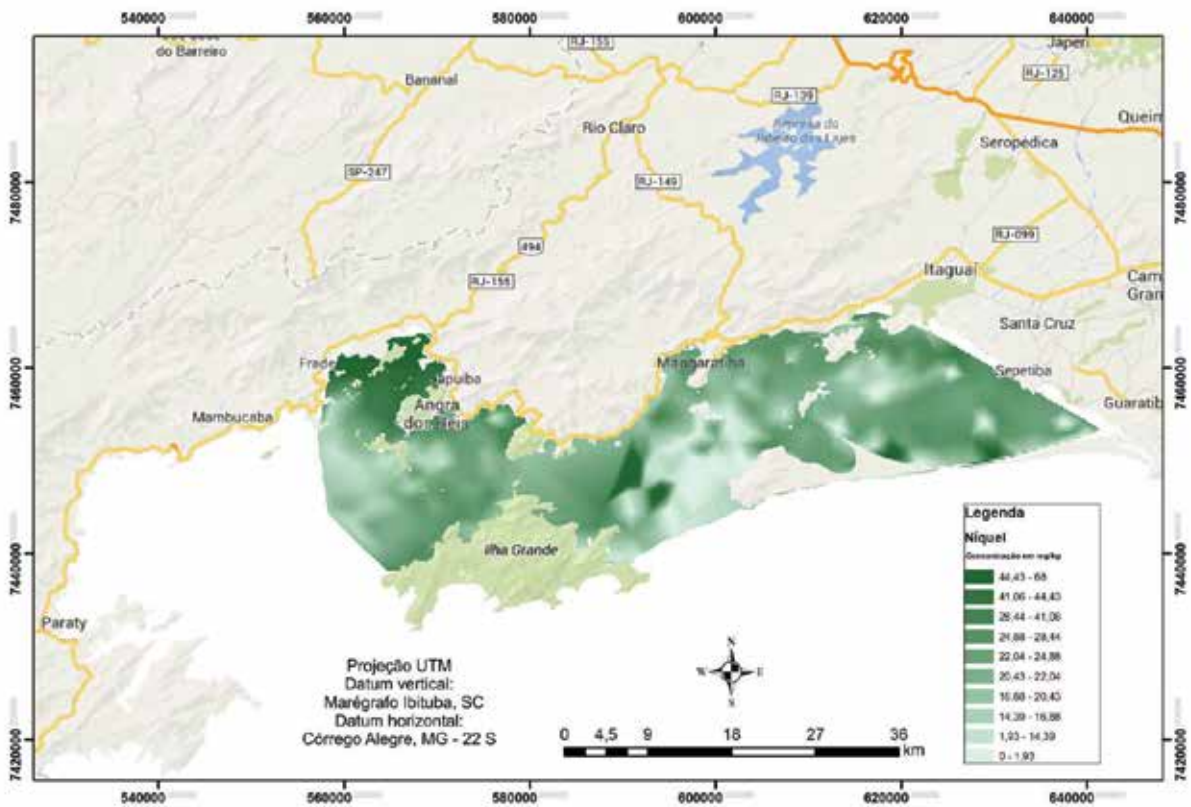


Figura 7 - Mapa de concentração e distribuição espacial de níquel (mg/kg)

grandes variações (coeficiente de variação 21, 17 e 13%, respectivamente) entre elas (Figura 2), sendo assim as concentrações obtidas tem influências diversas, mas com importante contribuição do comportamento geoquímico desses elementos essencialmente de baixa mobilidade em ambientes exógenos e quando na estrutura de seu mineral de origem comportam-se como elementos imóveis, assim como ao processo de dispersão que é controlado pelo sistema de corrente.

Sua origem natural mais usual é de minerais sulfetados e rochas de caráter mais máfico, rochas de baixa ocorrência na região, que é, do ponto de vista petrológico, predominantemente ácida e félsica, esse fato sugere que as concentrações obtidas, ainda que pequenas possam ter importante contribuição antrópica.

A variação entre as concentrações de manganês das enseadas de Angra dos Reis, Ribeira, Mangaratiba e Marambaia, neste estudo, ficou em 23% (coeficiente de variação). Ainda que seja um elemento abundante no ambiente marinho é o elemento com maior enriquecimento na área, pois em ambientes marinhos apresenta concentrações variando entre 20 e 120 mg/kg (FORTESCUE, 1980), enquanto na área de estudo apresenta concentrações entre 1.600 e 16.100 mg/kg, ou seja, duas a quatro ordens de magnitude superiores ao máximo em ambiente natural.

O coeficiente de variação de cobre entre todas

as enseadas atingiu 43%, o que pode ser explicado pela fácil mobilização desse elemento, sobretudo porque sua maior concentração se dá na área mais abrigada – ou seja, na baía de Sepetiba. Quando o cobre é bivalente, combina-se com vários ânions e faz com que o processo de oxidação, lixiviação e reprecipitação não apenas resulte em cimentação em depósitos, imediatamente abaixo da zona de oxidação, mas também migre sob a forma de soluções de cobre e outros metais (GOLDSCHMIDT, 1958).

Na baía da Ribeira, as concentrações podem estar associadas também à granulação areno-argilosa identificada por Dias et al. (1990) e GOMES (2010), resultando em maior potencial de adsorção de elementos. Na área onde as concentrações são mais baixas, Dias (op. cit.) identificou uma granulação franco-arenosa, sendo que, no estado do Rio de Janeiro, essas areias são compostas preferencialmente por quartzo e, portanto, com baixo poder de adsorção. Isso favorece a não fixação dos elementos, principalmente porque em algumas áreas a direção de corrente é, segundo Gomes (2010), no sentido noroeste-sudeste – ou seja, no sentido da restinga da Marambaia.

As concentrações encontradas na baía da Ribeira se assemelham às encontradas na baía de Sepetiba (Figura 8), conforme o gráfico disponibilizado por Gomes (2010) e são corroboradas pelos dados desta pesquisa. As concentrações obtidas nas enseadas podem estar relacionadas às direções de corrente, pois nessas áreas é

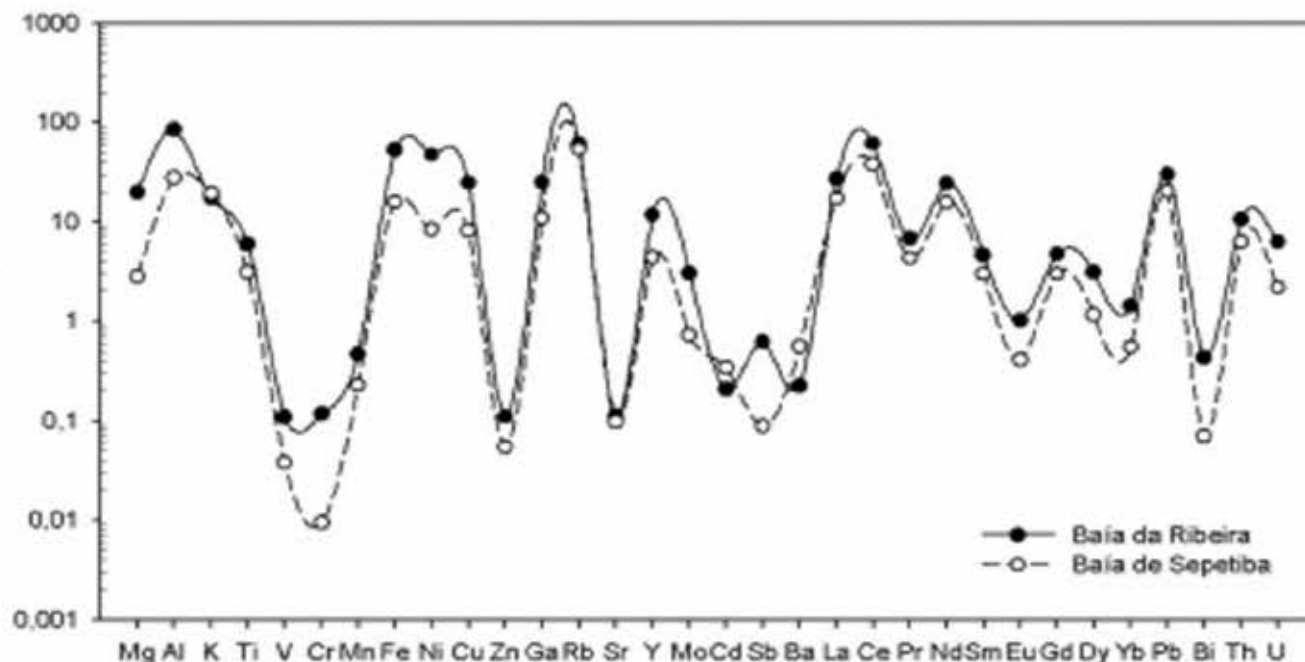


Figura 8 - Concentrações média do perfil de sedimentos em g/kg para Al, Mg, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Zn, Sr e Ba, em mg/kg para os demais elementos  
Fonte: GOMES (2010)

menor a circulação de água, assim como à influência de águas continentais através das desembocaduras dos rios.

No entanto, na área de maior circulação, existe maior gradiente e maior velocidade de corrente (0,10 m/s), diferentemente das áreas das enseadas, onde a velocidade é aproximada em 0,02 m/s. Além deste fator, a granulação dos sedimentos é de areia muito fina (DIAS et al., 1990; GOMES, 2010) e o sentido de corrente é nortesul (GOMES, 2010), o que não favorece a acumulação. Por outro lado, as concentrações obtidas podem ser favorecidas por dois fatores: concentrações elevadas, tanto *in loco* quanto provenientes das enseadas ao redor, em conjunto com a zona de confluência formada entre correntes de sentido noroeste-sudeste, provenientes de Paraty, e nordeste-sudoeste, provenientes da Ilha Grande.

A ocorrência de particulados em suspensão é significativa, devido à constante de massa lodosa, assim como de frequentes oscilações meteorológicas e junto com o processo de dispersão, projeta-se uma influência discreta dos processos biológicos na distribuição dos elementos (GOMES, 2010).

Com relação à CNAAA, segundo Gomes (2010), os monitoramentos de rotina dos efluentes de CNAAA indicam níveis irrelevantes de atividade radioativa a

partir das usinas, e a mistura dos efluentes ocorre em decorrência da turbulência gerada pela descarga em curto espaço de tempo e numa área dez a cem vezes maiores que a da própria descarga, onde a diluição em Piraquara de Fora, pertencente à enseada da Ribeira e onde são descarregados os efluentes de CNAAA (Figura 1) indicam um valor de diluição média de 1:16 do elemento rádio (GOMES, 2010).

### ASSINATURAS Pb/Pb

Foram selecionadas amostras para a análise das razões isotópicas (assinatura), conforme sua distribuição espacial na baía e proximidade à CNAAA de forma a manter os intervalos equidistantes. As assinaturas isotópicas  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  demonstram um intervalo entre 1,163 e 1,626 para a baía de Sepetiba, sendo que os valores mais radiogênicos se restringiram a duas amostras na baía de Mangaratiba (que podem ser caracterizadas como *outlier*, razão pela qual não são representadas nos gráficos) e com proximidade do continente. As amostras dessa porção apresentam alta heterogeneidade, sendo difícil definir grupos homólogos (Figura 9).

A baía de Sepetiba apresenta os seguintes intervalos

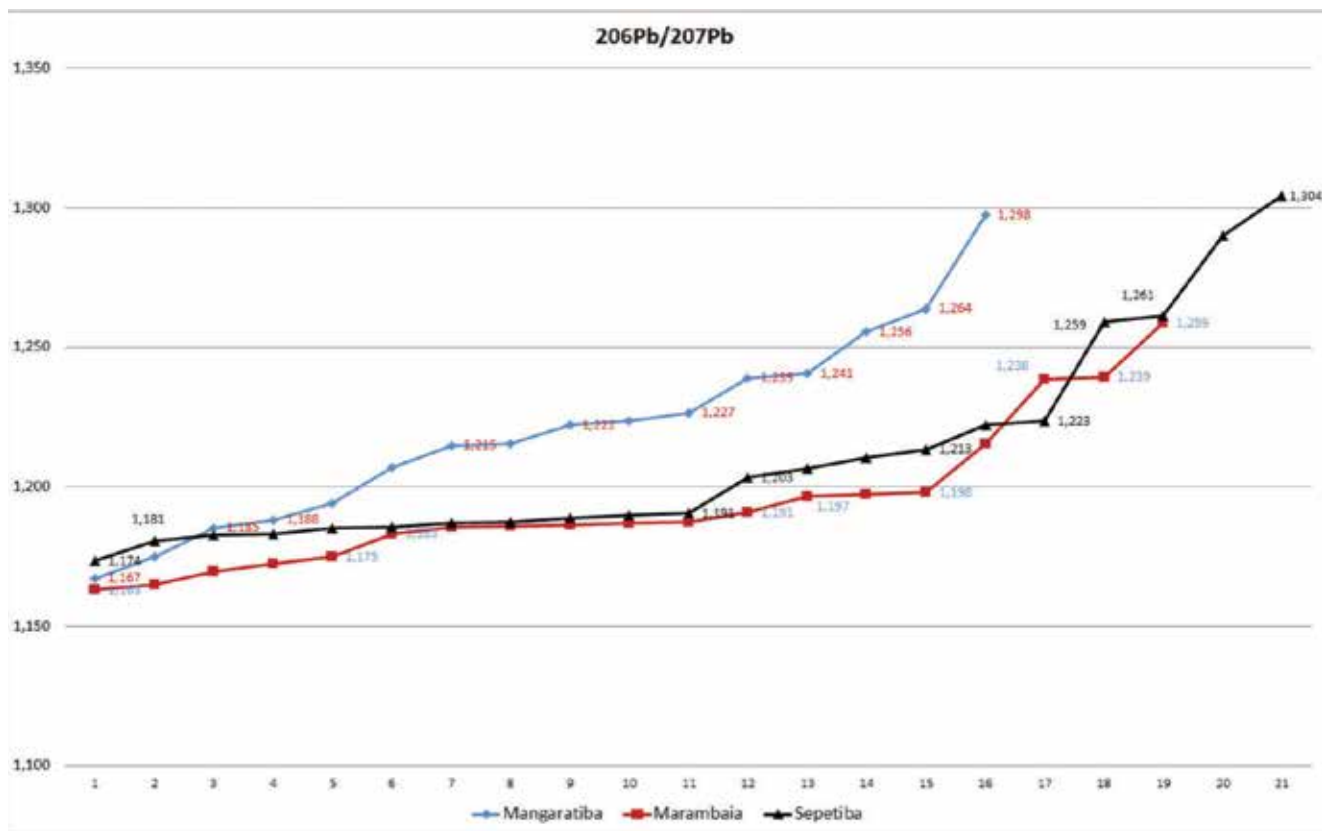


Figura 9 - Curva de distribuição da Razão  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  na baía de Sepetiba

de assinatura  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  nas enseadas estudadas:

Mangaratiba 1,167 a 1,185; 1,188 a 1,215; 1,222 a 1,227; 1,239 a 1,241; 1,256 a 1,298 e 1,506 a 1,626 (6 intervalos);

Marambaia 1,163 a 1,175; 1,183 a 1,197; 1,198 a 1,238; 1,239 a 1,259 (4 intervalos);

Sepetiba 1,174 a 1,191; 1,203 a 1,213; 1,223 a 1,259 e 1,261 a 1,304 (4 intervalos).

Por sua vez, as assinaturas isotópicas da baía de

Ilha Grande apresentaram intervalo entre 1,142 e 1,339, tendo um comportamento homogêneo, inclusive com intervalos que se sobrepõem entre as baías de Angra dos Reis e Ribeira, embora a Ribeira se apresente mais radiogênica (Figura 10).

Os intervalos da baía de Ilha Grande são em nas enseadas estudadas:

Ribeira 1,142 a 1,153; 1,166 a 1,182; 1,258 a 1,339 (3 intervalos);

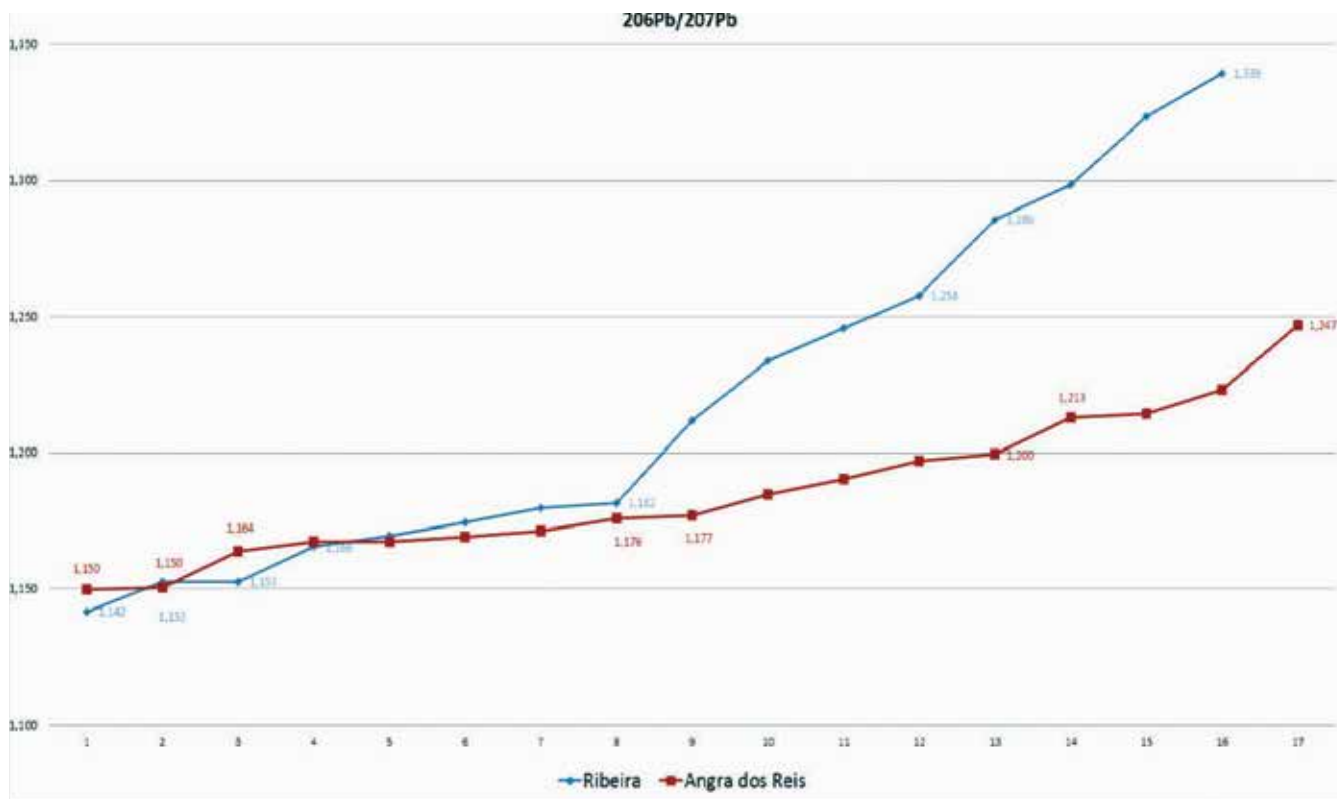


Figura 10 - Curva de distribuição da Razão  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  na baía de Ilha Grande

Angra dos Reis 1,150 a 1,164; 1,166 a 1,176; 1,177 a 1,200; 1,213 a 1,247 (4 intervalos).

As assinaturas dos sedimentos são pouco correlacionadas às rochas do embasamento, quando equiparadas aos dados obtidos por Moraes et al. (2004), que apresentaram intervalo aproximado de 1,055 a 1,095 para depósitos de Pb Neoproterozoicos. No entanto, são facilmente correlacionáveis às assinaturas obtidas por Souza (2011) em rochas dos domínios Juiz de Fora e Cambuci, este último pertencente ao Terreno Oriental da Faixa Ribeira.

Os valores menos radiogênicos podem ser equiparados aos encontrados por Geraldês et al. (2003) para a baía de Guanabara caracterizada por forte influência

antrópica, que vão desde esgoto doméstico a efluentes industriais (Figura 11). No entanto equiparando-se apenas aos intervalos menos radiogênicos, pois as baías da Ribeira e de Mangaratiba apresentam intervalos de assinatura isotópica muito superior aos encontrados por outros autores.

As enseadas de Mangaratiba, Marambaia e Angra dos Reis, por sua vez, apresentam intervalos que se correlacionam apenas a efluentes industriais, indicando que além de existirem diversas fontes que contribuem para o incremento de metais na região, a maior parte deles é de origem antrópica de atividade industrial e/ou outras não conhecidas. Estudos mais detalhados poderão sinalizar se há relação com a atividade da CNAEA.



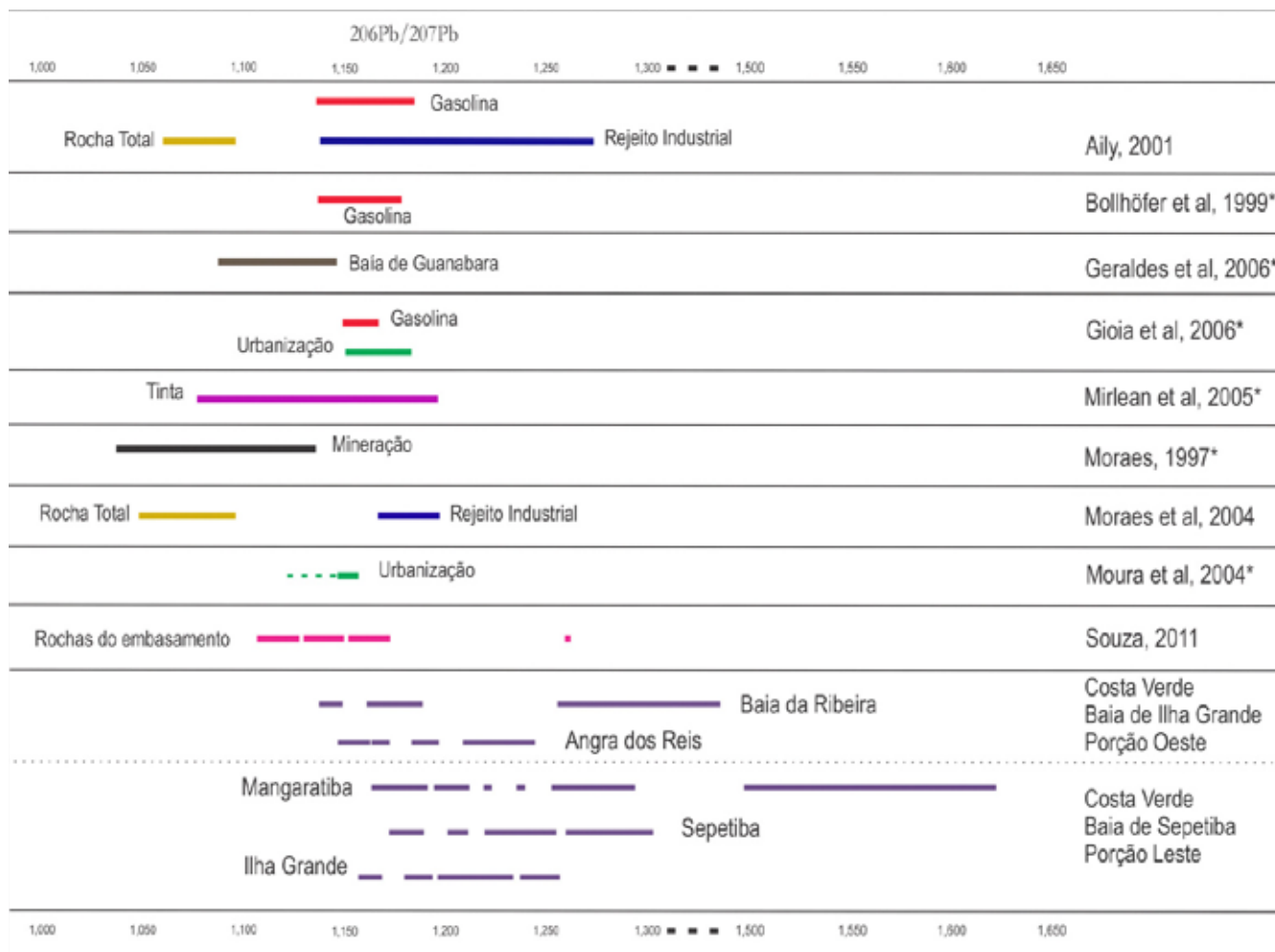


Figura 11 - Comparação das assinaturas encontradas na Costa Verde com diversos autores

Comparando os padrões de distribuição de assinaturas isotópicas nas duas porções da Costa Verde observa-se que existe mistura entre ambas as baías Ilhas Grande e baía de Sepetiba, sobretudo na enseada de Mangaratiba. Ao utilizar o chumbo comum ( $^{204}\text{Pb}$ ) nota-se a melhor correlação entre as razões  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  x  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , provenientes de tório ( $^{232}\text{Th}$ ) e urânio ( $^{238}\text{U}$ ), atingindo entre 97% e 56% de correlação na baía de Ilha Grande e 98 a 73% na baía de Sepetiba. Essa correlação demonstra a assinatura do embasamento, uma vez que tório e urânio têm comportamento geoquímico similar em processos de alta temperatura – ou seja, preferencialmente na geração de rochas.

Embora a baía de Sepetiba apresente intervalos mais heterogêneos da razão  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ , a alta correlação entre  $^{208}\text{Pb}$  e  $^{206}\text{Pb}$  indica predominância de uma mesma fonte de sedimentos, sendo o processo de dispersão de sedimentos na baía de Sepetiba mais homogêneo do que na baía de Ilha Grande (Figura 12 e Figura 13).

Quando se observa com mais detalhe a baía de Ilha Grande, principalmente nas proximidades da enseada da Ribeira, as razões menos radiogênicas estão situadas nas proximidades dos continentes e se acentuam em direção ao mar aberto. Parte desse efeito está associada à própria dispersão do meio, bem como à maior mistura com o distanciamento de sua fonte (Figura 14). Essa relação é curiosa, pois as razões menos radiogênicas são caracterizadas como provenientes das rochas do embasamento.

Existe um grupo de assinaturas que é exclusivo da baía de Sepetiba, conforme destacada na figura abaixo. Essa região apresenta também concentrações de cobalto, chumbo e urânio maior que as circunvizinhanças.

A enseada de Mangaratiba apresenta intervalo muito radiogênico, esta área ainda possui altas concentrações de níquel, e nela está situado o porto de embarque de minério de ferro. Por esta correlação, pode-se supor que as concentrações de níquel na baía de Sepetiba e cobalto,

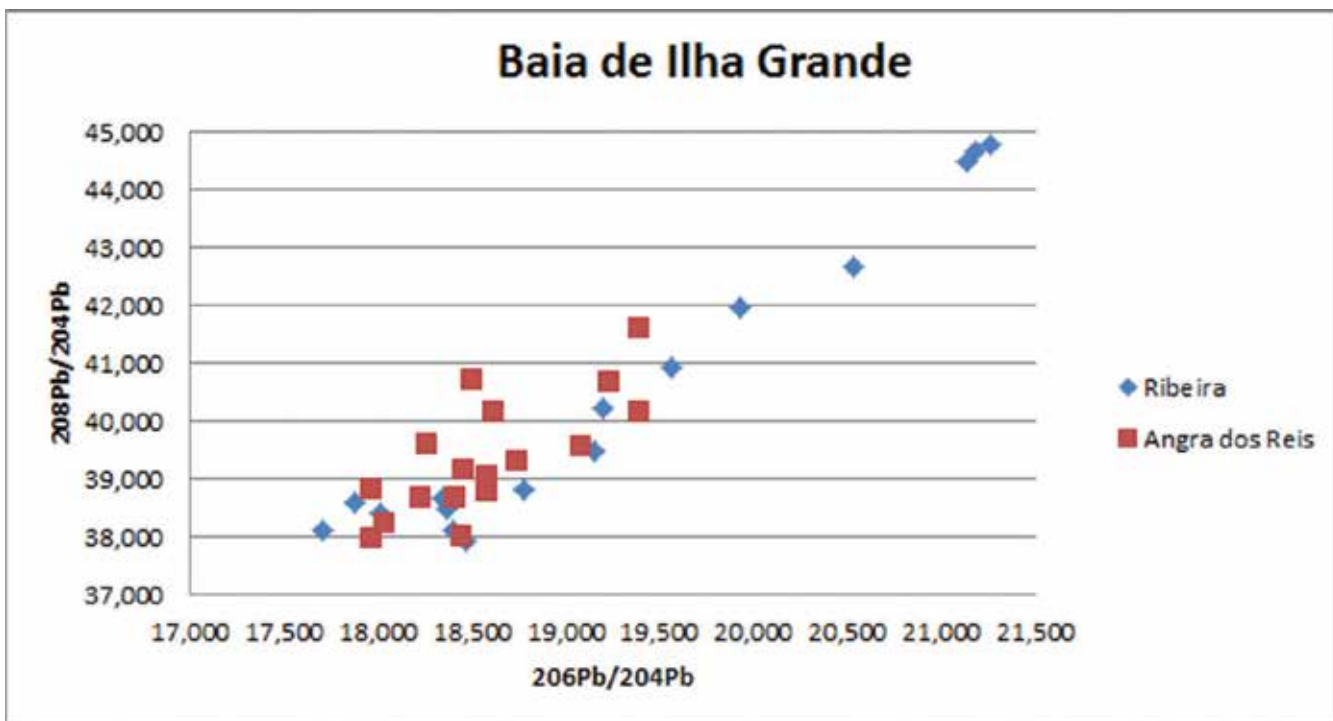


Figura 12 - Razão 208Pb/204Pb x 206Pb/204Pb da baía da Ilha Grande

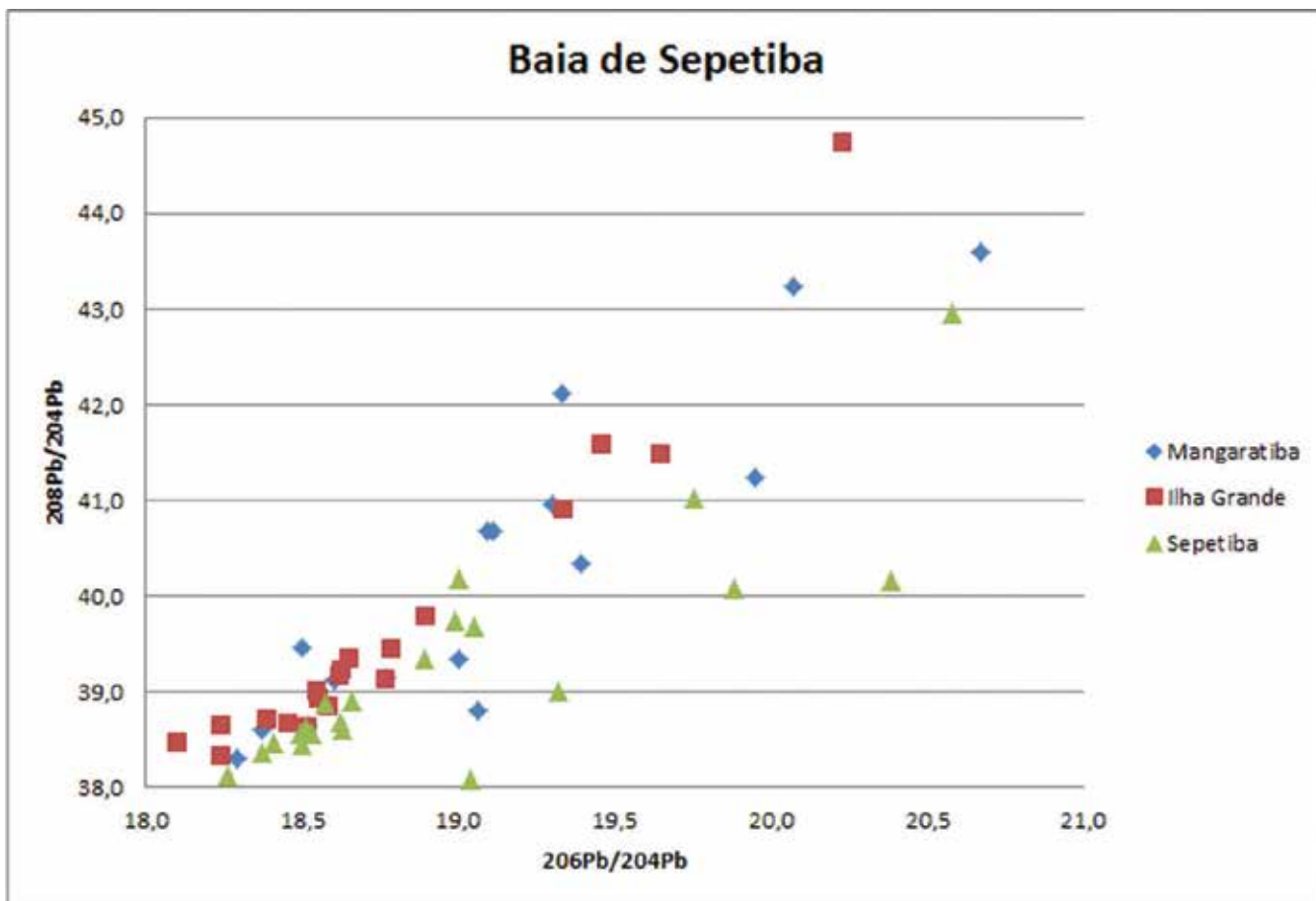


Figura 13 - Razão 208Pb/204Pb x 206Pb/204Pb da baía de Sepetiba

chumbo e urânio na baía de Ilha Grande têm maior contribuição das fontes mais radiogênicas. Tais fontes podem ser separadas em três grandes grupos (Figura 15), conforme sua correlação ao chumbo, embora a

alta heterogeneidade do meio mantenha um grupo de assinaturas disperso e sem correlação direta entre si. Sendo que Mangaratiba apresenta um intervalo exclusivo.

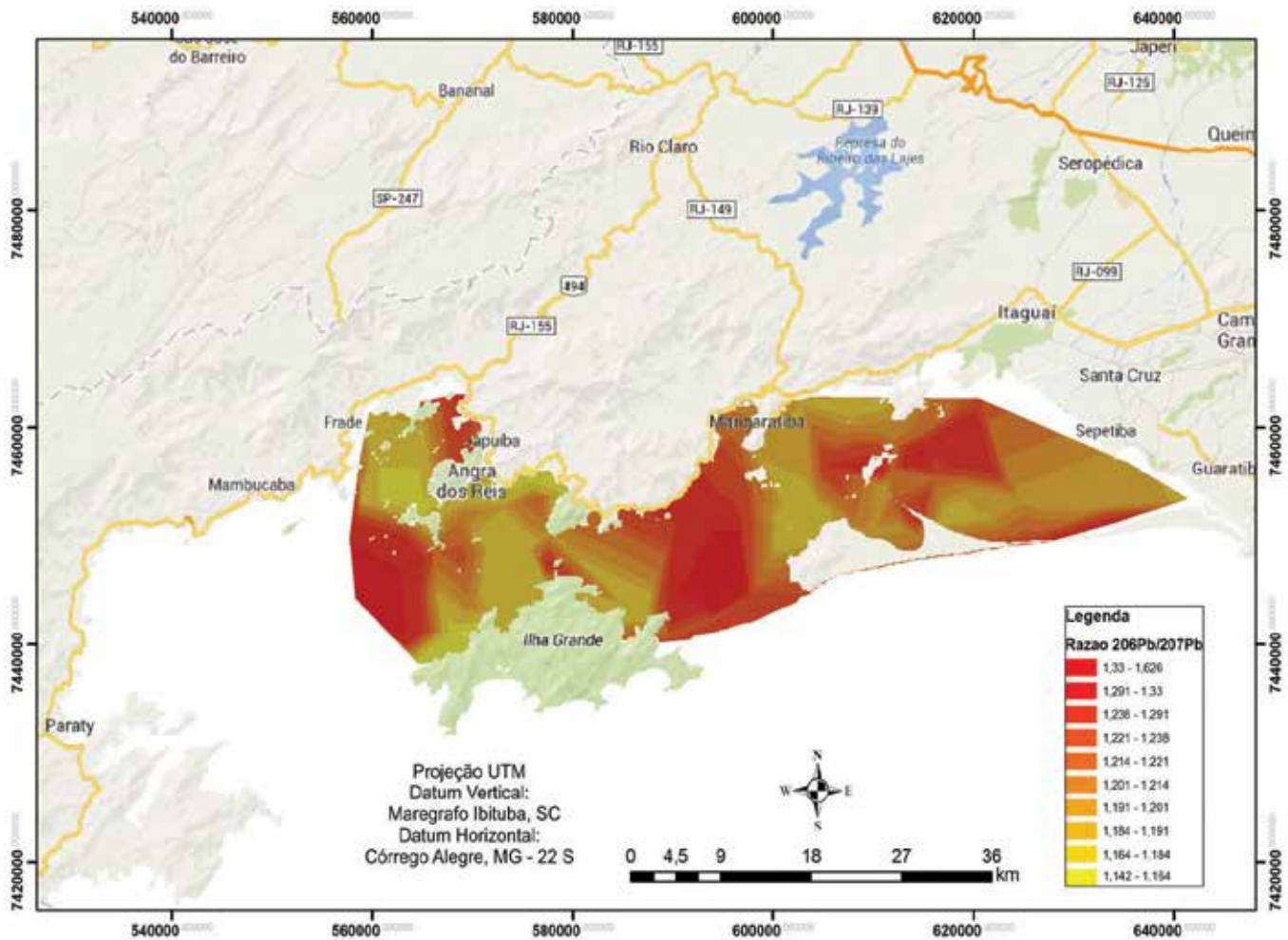


Figura 14 - Distribuição das assinaturas isotópicas  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$

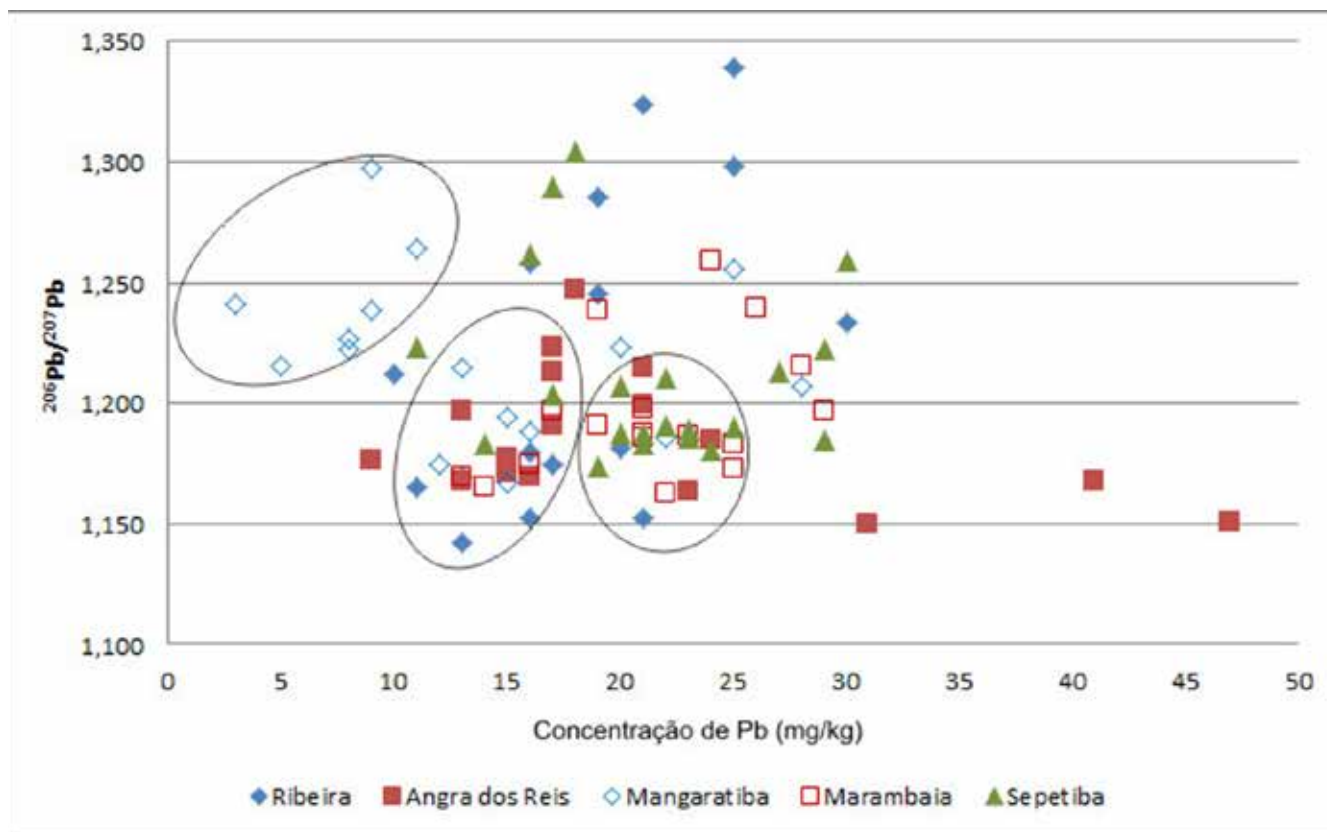


Figura 15 - Correlação das assinaturas  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  e concentrações de chumbo

## CONCLUSÕES

As enseadas na Costa Verde apresentam um alto aporte de metais, onde a distribuição desses elementos apresenta um padrão coerente com os principais fatores de controle, sendo eles a) aportes naturais b) localização das fontes de contaminação c) dinâmica das águas costeiras e d) comportamento geoquímico dos elementos.

A baía de Sepetiba é que apresenta maior impacto, fato que se deve ao grande número de empreendimentos e por sua morfologia, que dificulta a dispersão de metais.

A baía de Ilha Grande carece de mais estudos, embora se note uma influência pontual na concentração de metais, principalmente, dos empreendimentos que nela se encontram. A contribuição da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, se existir, só pode, por sua vez ser caracterizada por análises mais específicas.

Existe certa coerência quanto à distribuição das concentrações dos elementos, pois as áreas apresentam zonas homólogas de maiores ou menores concentrações de todos os elementos e cuja variância apresenta a mesma ordem de grandeza.

Com base nas assinaturas isotópicas, são observadas ao menos cinco fontes distintas de metais que, devido a suas características geoquímicas, tendem a se concentrar próximas à costa e estão correlacionadas com estudos que indicam contaminação antrópica por efluentes industriais, não descartando, contudo, as fontes naturais.

Grupos de assinaturas exclusivos das enseadas Sepetiba e Mangaratiba apontam para fontes pontuais e muito específicas de metais. Enquanto as demais enseadas demonstram clara mistura de diversas fontes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro pelo financiamento ao projeto. Agradecem também aos alunos da Faculdade de Oceanografia e da Faculdade de Geologia pelo apoio a coleta e preparação de amostras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ActLabs (Activation Laboratories) Disponível em <<http://www.actlabs.com/>>. 2014
- AILEY, C. 2002. *Caracterização isotópica de Pb na atmosfera: um exemplo da cidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Geociências)* - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 76p.
- AMADOR, E.S. 1988. Geologia e geomorfologia da planície costeira da Praia do Sul - Ilha Grande: uma contribuição à elaboração do Plano Diretor da Reserva Biológica. *In: Anuário do Instituto de Geociências, Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.* p.35-58.
- BOLLHÖFER, A.; CHISHOLM, W. & ROSMAN, K.J.R., 1999. Sampling aerosols for lead isotopes on a global scale. *Analytical Chimica*, Amsterdam: Elsevier, v.390, p. 227-235.
- DE SOUZA LIMA; R.G.; ARAÚJO, F.G; MAIA, M.F. & PINTO, A.S.S.B. 2002. Evaluation of heavy metals in fish of the Sepetiba and Ilha Grande bays, Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Research Section A.* **89**: 171-179.
- DIAS, G. T. M.; PEREIRA, M. A. DIAS & I. M., 1990. *Mapa geológico-geomorfológico da Baía da Ilha Grande e zona costeira adjacente, escala 1:80000*, LAGEMAR/ UFF, Brasil.
- ELETRONUCLEAR. Site da empresa estatal responsável por operar e construir as usinas termoeletricas no Brasil. Disponível em <<http://www.eletronuclear.gov.br>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2011.
- FORTESCUE, J.A.C. 1980. *Environmental Geochemistry: A holistic approach*. New York: Springer. (Ecological Studies v.35). 377p.
- FUNDAÇÃO CIDE (Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro). Governo do Estado do Rio de Janeiro. *Mapa da região da Costa Verde do estado do Rio de Janeiro*. Disponível em <[http://mapas.owje.com/maps/5600\\_costa-verde-region-map-rio-de-janeiro-state-brazil.html](http://mapas.owje.com/maps/5600_costa-verde-region-map-rio-de-janeiro-state-brazil.html)>. Acessado em 23 de setembro de 2013.
- GERALDES, M.C.; PAULA, A.H; GODOY, J.M. & VALERIANO, C. M. 2003. Pb isotope signatures of sediments from Guanabara Bay, SE Brazil: evidences for multiple anthropogenic sources. *Journal of geochemical Exploration.* **23**:122-126.
- GIOIA, S.M.C.L; PIMENTEL, M.M., TESSLER, M.; DANTAS, E.L.; CAMPOS, J.E.G.; GUIMARÃES, E.M. & MARUOKA, M.T.S., NASCIMENTO, E.L.C., 2006. Sources of anthropogenic lead in sediments from an artificial lake in Brasília – central Brazil. *Science of the Total Environment.* **356**:125– 142.
- GODOY, J.M.O. *Energia nuclear e impacto ambiental*. Sala de Leitura. Coordenação Central de Educação a Distância (CCEAD). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ). [s.l.]. 2009.
- GOMES, F.M.C. 2010. *Estudo da Dispersão de Radionuclídeos na Baía da Ilha Grande – RJ*. Tese (Doutorado em Engenharia Nuclear) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 154p.
- GOMES, F.C.; GODOY, J.M.; GODOY, M.L.D.P. ; CARVALHO, Z.L.; LOPES, R.T.; SANCHEZ-CABEZA, J.A.; OSVATH, I. & LACERDA, L.D. 2011. Geochronology of anthropogenic radionuclides in Ribeira Bay sediments, Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity.* **102**: 871-876
- GOMES, F.C.; GODOY, J.M.; CARVALHO, Z.L.; SOUZA, E.M.; SILVA, J.I.R. & LOPES, R.T. 2014. Tritium (<sup>3</sup>H) as a tracer for monitoring the dispersion of conservative radionuclides discharged by the Angra dos Reis nuclear power plants in the Piraquara de Fora Bay, Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity* **136**: 169-173
- GUERRA, J.V & MARQUES, D.O. 2005. Padrão de circulação na região do Canal Central da Baía de Ilha Grande e implicações para a dispersão sedimentar – resultados preliminares da compilação e análise de dados pretéritos. *In: Anais do X Congresso da ABEQUA*. Guarapari (ES). p. 5
- GUERRA, J.V & SOARES, F.L.M, 2009. Circulation and flux of suspended particulate matter in Ilha Grande Bay, SE Brazil. *Journal of Coastal Research.* **SI 56**:1350-1354.
- HEILBRON, M. (org) 2007. *Angra dos Reis- SF23-Z-C-II, escala 1:100.000: nota explicativa integrada com Santa Rita do Jacutinga, Barra do Pirai, Volta Redonda*. Série Programa de Geologia do Brasil – PGB. Rio de Janeiro: UERJ/CPRM. 173p.
- HEILBRON, M. & MACHADO, N. 2003. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-

- Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*. **125**: 87-112.
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.,; NETO, M.C.C.; SILVA, L.C.; TROW, R.A.J. & JANASI, V.A. 2004. Província Mantiqueira *In*: NETO, V.M., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C.D.R., NEVES, B. B. B. Geologia do Continente Sul-Americano – Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Brasília: UNESCO.
- INDÚSTRIAS NUCLEARES BRASILEIRAS (INB), Site da empresa estatal responsável pela fabricação do elemento combustível no Brasil. Disponível em <<http://www.inb.gov.br>>. Acesso em 12 de abril de 2012.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). 2009 Determination and use of scaling factors for waste characterization in nuclear power plants. Vienna: IAEA. IAEA Nuclear Energy Series. NW-T-1.18. 142p.
- MAHIQUES, M.M., 1987. *Considerações sobre os sedimentos de superfície de fundo da Baía de Ilha Grande, Estado do Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado em Oceanografia). São Paulo: Universidade de São Paulo. 2 volumes.
- MIRANDA, LB.; IKEDA, Y; CASTRO-FILHO, BM & PEREIRA-FILHO, N. 1977. Note on the occurrence of saline fronts in the Ilha Grande (RJ) region. *Bol. Inst. Oceanogr. São Paulo*. **26**: 249-256.
- MORAES, R.P.; FIGUEIREDO, B.R. & LAFON, J.M. 2004. Pb-isotopic tracing of metal-pollution source in the Ribeira Valley, southeastern Brazil. *TERRÆ*. **1**(1): A19-A26.
- MOURA, C.A.V.; GAUDETTE; H.E.; CARVALHO, M.C. & MORALES, G.P. 2004 The use of lead isotope composition as a tool to investigate the anthropogenic impacts on the environment in the metropolitan region of Belém (PA). *TERRÆ*, Campinas: Unicamp. **1** (1): 16-25.
- MORALES, S.J.D. 2012. Traçadores isotópicos (Pb) e concentrações de metais em sedimentos superficiais: ferramenta de caracterização da poluição no setor oeste da baía de Sepetiba – RJ (SE do Brasil). Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Oceanografia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 179p.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J.F.; PIMENTEL, L.C.G. & LANDAU, L. 2010. Critérios de Estabilidade Atmosférica para a Região Da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, Angra dos Reis – RJ. *Revista Brasileira de Meteorologia*. **25** (2): 270-285.
- PEREIRA, S.D., 1998. *Influência da variação relativa do mar no manguezal de Guaratiba – Baía de Sepetiba – RJ*. Tese (Doutorado em Geociências) UFRGS, Porto Alegre. 123p.
- PEREIRA, S. D. & POÇO, R.G.T.C. 2009. *Caracterização Ambiental da Baía de Paraty e Enseada do Pouso – Rio de Janeiro/RJ*. Rio de Janeiro: UERJ. 2009. Relatório de Iniciação Científica. 17p.
- ROCHA, D.S. 2011. *Estudos de metais pesados e isótopos de Pb nos sedimentos da Baía de Sepetiba baseados em geoquímica e na distribuição pelas possíveis áreas fontes*. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- SOUZA, A.M. 2011. *Caracterização ambiental da bacia hidrográfica do rio São Domingos a partir da análise geoquímica e isotópica Pb/Pb*. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Faculdade de Geologia. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 122p.
- TUPINAMBÁ, M.; TEIXEIRA, W.; HEILBRON, M. & BASEI, M. 1998. The Pan-African/Brasiliano arc-related magmatism at the Costeiro Domain of the Ribeira Belt, southeastern Brazil: new geochronological and lithogeochemical data. In: 14th International Conference on basement tectonics. Ouro Preto, MG.. Abstracts. **1**: 12-14.