



ASA SOUTH AMERICA
Rua Purpurina, 155, cj 95
Vila Madalena – São Paulo –SP
CEP 05435-030



R.Henrique Monteiro, 90 – 13ªand.
Pinheiros – São Paulo, SP
CEP 05423-020

**METAIS CONTIDOS NOS SEDIMENTOS DO ESTUÁRIO E BAÍA DE
SANTOS E NA PLATAFORMA CONTINENTAL RASA CONTÍGUA
AO ESTUÁRIO**

Equipe Técnica **ASA SOUTH AMERICA:**

EDUARDO AYRES YASSUDA	(Nº IBAMA : 94066)
BRENO MENDES SIERRA	(Nº IBAMA : 1988616)
FÁBIO LUCIANO PINCINATO	(Nº IBAMA : 1821519)
GABRIEL CLAUZET	(Nº IBAMA : 1031373)
MARIA REGINA F. GUIMARÃES	(Nº IBAMA : 434231)
MARCO ANTONIO CORRÊA	(Nº IBAMA : 434236)

Consultor Externo:

MOYSES GONSALEZ TESSLER - IOUSP

Revisão 00
Fevereiro / 2008

ÍNDICE GERAL

I	INTRODUÇÃO	I-1
II	ESTUÁRIO E BAÍA DE SANTOS	II-1
II.1	BREVE HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DA BAIXADA SANTISTA	II-1
II.2	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA	II-2
II.3	DESCRIÇÃO GERAL DAS SEQÜÊNCIAS SEDIMENTARES QUATERNÁRIAS DO ESTUÁRIO E BAÍA DE SANTOS.....	II-6
II.4	DINÂMICA DE SEDIMENTAÇÃO NO ESTUÁRIO E BAÍA DE SANTOS	II-8
II.5	TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO ATUAL NO ALTO ESTUÁRIO SANTISTA, BAÍA DE SANTOS, E CANAL DA BERTIOGA	II-11
II.6	METAIS CONTIDOS NOS SEDIMENTOS DO FUNDO ATUAL E DAS COLUNAS SEDIMENTARES HOLOCÊNICAS QUE PREENCHEM OS CANAIS DO ESTUÁRIO SANTISTA	II-16
II.6.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ROCHAS DA SERRA DO MAR	II-17
II.6.2	AS CONCENTRAÇÕES DE METAIS CONTIDOS EM SEDIMENTOS DA ATUAL SUPERFÍCIE DE FUNDO DOS CANAIS ESTUARINOS E DA BAÍA DE SANTOS	II-20
II.6.2.1	Alto estuário santista.....	II-20
II.6.2.2	Canal do Porto	II-24
II.6.2.3	Baía de Santos	II-25
II.6.2.4	Canal da Bertioga	II-45
II.6.3	AS CONCENTRAÇÕES DE METAIS CONTIDOS AO LONGO DAS COLUNAS SEDIMENTARES HOLOCÊNICAS QUE PREENCHEM OS CANAIS DO ESTUÁRIO SANTISTA	II-49
II.6.3.1	Os testemunhos do alto estuário (CS e SR)	II-50
II.6.3.2	Os testemunhos do canal da Bertioga (03, 09 e 21).....	II-61

III	PLATAFORMA CONTINENTAL RASA CONTÍGUA AO ESTUÁRIO SANTISTA	III-1
III.1	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA.....	III-1
III.2	DINÂMICA DAS CORRENTES COSTEIRAS.....	III-3
III.3	CARACTERIZAÇÃO TEXTURAL DOS SEDIMENTOS DOS FUNDOS ATUAIS.....	III-6
III.4	METAIS CONTIDOS NOS SEDIMENTOS DO FUNDO ATUAL E NAS COLUNAS SEDIMENTARES HOLOCÊNICAS QUE RECOBREM A PLATAFORMA CONTINENTAL RASA CONTÍGUA AO ESTUÁRIO SANTISTA.....	III-8
III.4.1	AS CONCENTRAÇÕES DE METAIS CONTIDOS EM SEDIMENTOS DA ATUAL SUPERFÍCIE DE FUNDO, NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO DESCARTE DO MATERIAL DRAGADO NO ESTUÁRIO SANTISTA	III-10
IV	CONSIDERAÇÕES GERAIS	IV-1
V	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS NO TEXTO	V-1
	ANEXOS.....	A-1
	ANEXO 1	A-2
	ANEXO 2	A-5

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planície costeira de Santos.....	II-4
Figura 2 - Circulação na Baía de Santos (Fukumoto, 2003).	II-10
Figura 3 - Localização dos pontos de amostragem dos trabalhos da CETESB (1997, 1998, 1999).....	II-22
Figura 4 - Distribuição dos metais (As, Ba, Co, Sb, Sc, Cu, Mn e Ni) contidos nas amostras de sedimentos marinhos da baía de Santos (mg.kg^{-1}).	II-30
Figura 5 - Distribuição dos metais (Pb, V, Hg, Zn, Ti, e Fe) contidos nas amostras de sedimentos marinhos da baía de Santos (mg.kg^{-1}).	II-31
Figura 6 - Distribuição do Cromo na Baía de Santos.	II-34
Figura 7 - Distribuição do Zinco na Baía de Santos.	II-35
Figura 8 - Distribuição do Ferro na Baía de Santos.	II-36
Figura 9 - Distribuição do Manganês na Baía de Santos.	II-37
Figura 10 - Distribuição do Níquel na Baía de Santos.....	II-38
Figura 11 - Distribuição do Vanádio na Baía de Santos.....	II-39
Figura 12 - Distribuição do Chumbo na Baía de Santos.	II-40
Figura 13 - Distribuição do Rubídio na Baía de Santos.....	II-41
Figura 14 - Distribuição do Escândio na Baía de Santos.	II-42
Figura 15 - Distribuição do Titânio na Baía de Santos.	II-43
Figura 16 - Distribuição do Cobre na Baía de Santos.	II-44
Figura 17 - Teor de Cobre, em ppm (mg.kg^{-1}), no Canal da Bertioga.	II-46
Figura 18 - Teor de Chumbo, em ppm (mg.kg^{-1}), no Canal da Bertioga.	II-47
Figura 19 - Teor de Zinco, em ppm (mg.kg^{-1}), no Canal da Bertioga.	II-48
Figura 20 - Localização das amostras obtidas na região do alto estuário (Fukumoto, 2007).....	II-50
Figura 21 - Níveis de metais normalizados pelo Sc em função da profundidade no testemunho CS.	II-54
Figura 22 - Níveis de metais normalizados pelo Sc em função da profundidade no testemunho SR.	II-59
Figura 23 - Área de estudo e coleta das amostras no Canal de Bertioga, os círculos em azul representam os pontos de coleta dos testemunhos.....	II-61

Figura 24 - Níveis de metais em função da profundidade no testemunho 3 do Canal da Bertioga.....	II-62
Figura 25 - Níveis de metais normalizados pelo Sc em função da profundidade no testemunho 3 do canal de Bertioga.....	II-64
Figura 26 - Níveis de metais em função da profundidade no testemunho 9 do Canal de Bertioga.....	II-66
Figura 27 - Níveis de metais normalizados pelo Sc em função da profundidade no testemunho 9 do Canal de Bertioga.....	II-67
Figura 28 - Níveis de metais em função da profundidade no testemunho 21 do Canal da Bertioga.....	II-69
Figura 29 - Níveis de metais normalizados pelo Sc em função da profundidade no testemunho 21 do Canal de Bertioga.....	II-69
Figura 30 - Mapa Sedimentológico da Plataforma Continental Paulista (Rodrigues et al., 2003).....	III-7
Figura 31 -Valores de metais na plataforma sudeste brasileira (Machado, 1985).	III-9
Figura 32 - Localização dos testemunhos 7744 e 7745 na plataforma continental.....	III-11
Figura 33 - Distribuição espacial do teor de areia na plataforma continental adjacente a Santos.....	III-13
Figura 34 - Distribuição espacial do teor de lama na plataforma continental adjacente a Santos.....	III-14
Figura 35 - Distribuição espacial do teor de Pb nos sedimentos de fundo da plataforma continental.....	III-15
Figura 36 - Distribuição espacial do teor de Cu nos sedimentos de fundo da plataforma continental.....	III-16
Figura 37 - Distribuição espacial do teor de Fe nos sedimentos de fundo da plataforma continental.....	III-17
Figura 38 - Distribuição espacial do teor de Mn nos sedimentos de fundo da plataforma continental.....	III-18
Figura 39 - Distribuição espacial do teor de Zn nos sedimentos de fundo da plataforma continental.....	III-19
Figura 40 - Teor de metais presente no testemunho 7745.....	III-20
Figura 41 -Teor de metais presente no testemunho 7744.....	III-20

I INTRODUÇÃO

Ambientes costeiros de sedimentação se apresentam sempre como uma resposta à conjugação de processos encadeados em distintas escalas de tempo e espaço.

A planície costeira da baixada santista (SP) com seus estuários, canais de maré, rios, manguezais e, conseqüentemente, todas as seqüências sedimentares que preenchem estes espaços costeiros, tem sua história evolutiva vinculada à **herança geológica** (origem e evolução da Serra do Mar) responsável pela delimitação do espaço físico sobre o qual se estabeleceram estes ambientes deposicionais (escala geológica de milhões de anos), e ao **modelado quaternário** associado às variações relativas do nível marinho que induziram o preenchimento sedimentar quaternário dessas planícies (escala geológica de milhar de anos). A partir deste arcabouço inicial ganham destaque os **processos de dinâmica sedimentar atual** condicionados pelos componentes atmosféricas e oceanográficas (frentes frias, ondas e marés), indutores das alterações na configuração física destes ambientes na escala de tempo humana.

A **influência antrópica** sobre todo este arcabouço sedimentar, correspondente a quarta vertente de condicionamento do relevo e do padrão dinâmico da área, tem significativa relevância nos sistemas costeiros da baixada santista, ao longo do século XX, com especial destaque ao período inicial de ampliação da área portuária do estuário. A esta etapa de desenvolvimento se associou a fase de expansão industrial do complexo hidroelétrico, siderúrgico e petroquímico de Cubatão, de forma acelerada a partir dos anos 50 do século passado.

As questões relacionadas à dragagem, e ao descarte do material dragado no estuário santista, devem considerar todos os aspectos relacionados à história evolutiva do litoral paulista, e mais diretamente das planícies costeiras da baixada santista.

II ESTUÁRIO E BAÍA DE SANTOS

II.1 BREVE HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DA BAIXADA SANTISTA

O crescimento da baixada santista não foi um processo que tenha ocorrido de forma contínua, mas sim em fases sucessivas de desenvolvimento social e econômico.

Uma primeira fase de desenvolvimento esteve ligada à ampliação do porto e construção, no final do século XIX, das estradas de ferro que ligaram diretamente o Planalto Paulista à Baixada Santista.

A partir do ano de 1918, quando da instalação de uma fábrica de papel e, principalmente, a partir dos anos 20, quando foi construída a usina hidroelétrica da Light, a região experimentou um segundo surto de crescimento. Esta fase marcou a primeira mudança significativa na dinâmica estuarina visto que a indústria de papel utilizava a água do rio Cubatão, tanto para a alimentação de sua planta industrial, como também como corpo receptor de seus rejeitos de processamento. Por outro lado, a usina hidrelétrica liberava, neste mesmo canal fluvial, um volume significativo de água doce, proveniente do Planalto Paulista, que induziu modificações das condições de salinidade e circulação da região do alto estuário.

Anteriormente a estas interferências os únicos resíduos industriais na região do alto estuário, que poderiam causar impacto sobre a região estuarina, eram devidos a um curtume, implantado em 1895, único empreendimento industrial existente até o ano de 1918.

A partir da construção de uma nova opção rodoviária entre o planalto e a baixada, a via Anchieta, no início da década de 40, a região passou a experimentar um aumento do fluxo turístico e de serviços. Porém, foi apenas a partir da ampliação da capacidade de geração de energia pela Light, com a construção de uma usina subterrânea, entre os anos de 1956 e 1962, possibilitando a instalação de uma refinaria de petróleo, um pólo petroquímico e,

posteriormente, um complexo siderúrgico (1959-1963), que as condições hidrodinâmicas e ambientais do estuário foram sensivelmente modificadas.

Estes pólos petroquímico e siderúrgico utilizam pelo menos em parte, como fonte de água doce para suas plantas industriais, água dos rios que cortam a planície costeira além de pequenas quedas d'água, existentes nos contrafortes da Serra do Mar.

A partir da ampliação da capacidade hidrelétrica instalada, o volume de ingresso de água doce no estuário, proveniente do planalto, sofreu um sensível incremento sendo que, a este aporte de água doce, está associado um volume considerável de material em suspensão, rico em elementos metálicos e orgânicos, resultantes das atividades industriais e urbanas existentes nas áreas do alto estuário e da escarpa adjacente.

Este período de rápido crescimento, ocorrido entre o final dos anos 50 e início da década de 60, implicou não apenas na ampliação da área portuária, mas também na necessidade de dragagens contínuas do leito do estuário, a fim de possibilitar o acesso ao porto de embarcações de maior tonelagem, como também o acesso até regiões do alto estuário onde foram construídos cais exclusivos para a indústria siderúrgica.

Somente após a construção de uma nova rodovia, no início dos anos 70, Rodovia dos Imigrantes, construída a partir da Serra do Mar sobre a área de manguezal que circunda o estuário, foram implantados programas de controle ambiental visando diminuir o aporte de rejeitos industriais ao estuário, e de bombeamento das águas do planalto para a geração de energia e posterior deságüe no alto estuário, alterando novamente a dinâmica do sistema.

II.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA

Na caracterização geomorfológica do Estado de São Paulo (IPT, 1981), a planície e baía de Santos estão inseridas no domínio da Província Costeira, conforme definido por Almeida (1964, *apud* IPT, 1981), correspondente à

província fisiográfica denominada de Litoral por Ab'Saber & Bernardes (1958, *apud* IPT, 1981). Esta província corresponde à área drenada diretamente para o mar, constituindo o rebordo do Planalto Atlântico, onde se destaca uma região serrana contínua que, à beira-mar, cede lugar a uma seqüência de planícies de várias origens (Almeida, 1964, *apud* IPT, 1981).

O domínio da Província Costeira se subdivide nas subzonas Serra do Mar e Baixada Litorânea.

A subzona Serra do Mar apresenta relevo abrupto formado, predominantemente, por escarpas festonadas desenvolvidas ao longo de anfiteatros sucessivos, separados por espigões, com desníveis totais da ordem de 800 a 1200 metros entre as bordas do Planalto Atlântico e as baixadas litorâneas. Este relevo em desnível acentuado apresenta alta densidade de drenagem com padrões variando de sub-paralelo a dendrítico. Nesta região serrana estão presentes vales em forma de V, profundamente entalhados, que condicionam a drenagem que escoar na região, e se constituem nos núcleos exportadores dos materiais terrígenos que adentram a planície costeira santista.

A faixa de escarpas apresenta, em planta, larguras de 3 a 5 quilômetros, em média (IPT, 1981).

A subzona das Baixadas Litorâneas apresenta relevo de terrenos baixos, predominantemente planos, com baixa densidade de drenagem, de padrão meandrante, e com altitudes pouco elevadas em relação ao nível do mar atual.

No seu contexto geológico regional a área está inserida no compartimento geológico litorâneo, limitada a oeste pela Falha de Cubatão e a leste pela Falha de Santos, compondo-se de rochas do Complexo Costeiro e da Suíte Granítica Indiferenciada (Almeida & Carneiro, 1998).

Fúlvaro *et al.* (1974), dividiram o litoral paulista em três compartimentos distintos (Caraguatatuba, Santos-Itanhaém-Peruíbe e Iguape-Cananéia) cujas características distintivas principais são devidas ao forte controle estrutural, e aos diversos processos de sedimentação quaternária que lhes imprimiram feições locais, e cujos limites são dados por linhas estruturais. De acordo com os autores, o compartimento Santos-Itanhaém-Peruíbe se estende da Ponta da Boracéia (Bertioga) até a Região da Serra do Itatins (Peruíbe).

Suguo & Martin (1978), dividiram o litoral paulista em quatro grandes unidades (Cananéia-Iguape, Itanhaém-Santos, Bertioga-Ilha de São Sebastião e Ilha de São Sebastião-Serra de Parati), cujos limites naturais são dados pela presença de pontões do embasamento pré-cambriano. Segundo os autores, esta subdivisão contempla, ainda, uma individualização do litoral paulista em dois grandes compartimentos com características geomorfológicas bem diferenciadas entre as planícies costeiras localizadas ao sul e ao norte da região da Baixada Santista. Esta subdivisão é caracterizada pelo grau de distanciamento da Serra do Mar com relação à linha de costa atual e, conseqüentemente, pelas dimensões das planícies costeiras desenvolvidas ao longo dos eventos de variação relativa do nível do mar no Quaternário.

A planície costeira de Santos, por sua vez, tem a forma de um crescente de 40 km de extensão por 15 km de largura máxima, sendo delimitada, nas suas extremidades pela Serra de Mongaguá ao sul, e pela parte rochosa da Ilha de Santo Amaro ao norte (**Figura 1**). Nas partes central e nordeste, a planície é drenada por uma rede de canais de maré que delimitam as ilhas de São Vicente e Santo Amaro.

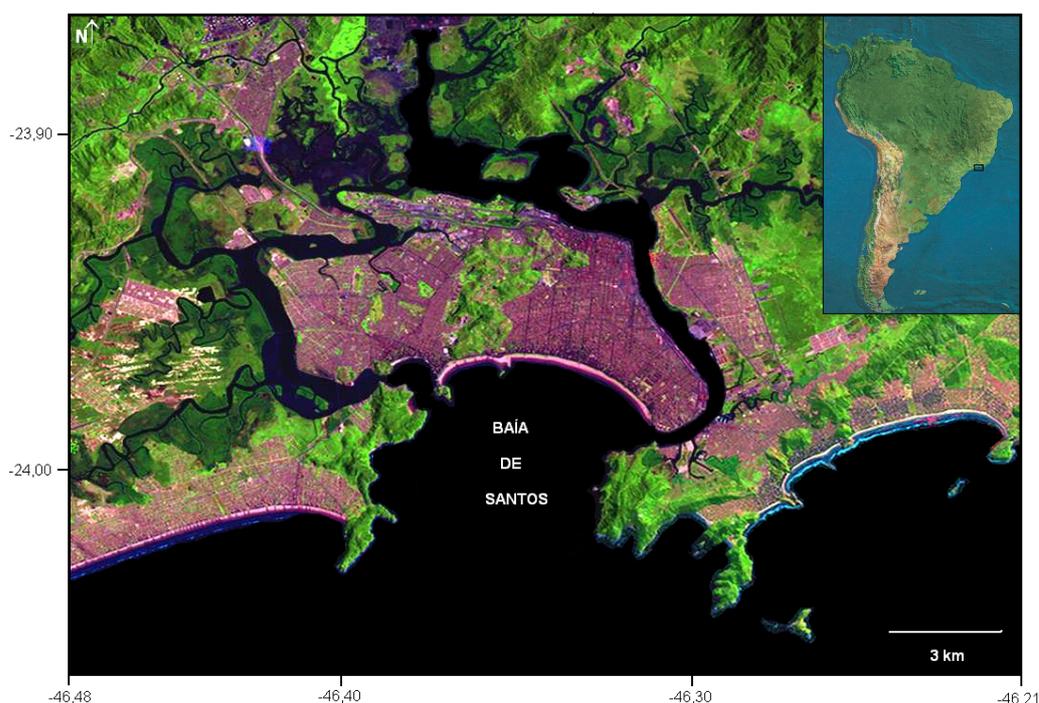


Figura 1 - Planície costeira de Santos.

De acordo com Suguio & Martin (1978), a gênese desta planície está diretamente vinculada aos mecanismos de variação do nível marinho ocorrido ao longo do Quaternário superior quando, nos máximos transgressivos do Pleistoceno superior (Transgressão Cananéia – 120.000 anos A.P.), e do Holoceno (Transgressão Santos – 5.100 anos A.P.), a área foi recoberta pelas águas marinhas que atingiram, respectivamente, cotas entre 8 e 10 metros acima do nível atual, no evento Cananéia e, entre 4 e 5 metros, no evento Santos. Na planície costeira Itanhaém–Santos, por ocasião da Transgressão Cananéia, o mar atingiu o sopé da Serra do Mar (Suguio & Martin, 1978).

No intervalo entre esses máximos transgressivos, com o recuo pronunciado do nível marinho durante o Último Máximo Glacial (~110 metros), que expôs totalmente as atuais planícies costeiras e quase toda a plataforma continental paulista, foram depositados cordões arenosos sobre o conjunto de sedimentos argilo-arenosos transicionais e de areias litorâneas transgressivas.

Na planície costeira de Santos é possível que as areias regressivas dos cordões litorâneos tenham recoberto apenas parte da planície atual (Suguio & Martin, 1978).

Neste evento regressivo que teve seu máximo há cerca de 17.000 anos, os sedimentos expostos sofreram erosão, originando os vales que, durante o evento transgressivo subsequente, foram afogados formando-se extensas lagunas onde se depositaram sedimentos argilo-arenosos, ricos em matéria orgânica. Suguio & Martin (1978) indicam, a partir de numerosas sondagens que, em certas partes da planície costeira de Santos, esses depósitos lagunares podem atingir até cerca de 50 metros de espessura.

Ainda ao longo deste evento ocorreu, também, a erosão das partes mais elevadas dos cordões arenosos pleistocênicos, possibilitando a re-sedimentação holocênica desses materiais erodidos.

A partir do máximo transgressivo holocênico, quando a linha de costa recuou para seu nível atual, originou-se um segundo conjunto de cordões arenosos. Na planície costeira de Santos, à medida que o nível do mar assumia sua posição atual, foi formada, por trás desses depósitos arenosos, uma vasta laguna que foi parcialmente colmatada e colonizada pela vegetação de mangue.

II.3 DESCRIÇÃO GERAL DAS SEQÜÊNCIAS SEDIMENTARES QUATERNÁRIAS DO ESTUÁRIO E BAÍA DE SANTOS

A obtenção das características texturais e geotécnicas dos sedimentos que preenchem o compartimento costeiro da baixada santista está apresentada de forma mais ampla nos estudos desenvolvidos por Massad (1986 e 1999).

As principais características referentes aos sedimentos argilosos que compõem significativa parte da coluna sedimentar que preenche os canais estuarinos referem-se à sua alta compressibilidade e baixa resistência.

As investigações de subsuperfície descritas em Massad (1986) indicaram que em profundidades maiores foi verificado o amplo predomínio de depósitos argilosos com até algumas dezenas de metros de espessura, representantes dos sedimentos flúvio-lagunares “holocênicos” (idades presumidas). Antes da base do depósito e recobertas por sedimentos argilosos foram atingidas areias que, possivelmente, formam camadas arenosas distribuídas na base dos sedimentos flúvio-lagunares.

Levantamentos geofísicos (sísmica contínua de alta resolução) executados nos canais do alto estuário santista indicaram a ocorrência de pelo menos quatro unidades sísmicas distintas, nas seqüências sedimentares depositadas ao longo desses canais.

A unidade representativa da seqüência de topo apresenta um padrão de reflexão ao sinal sísmico, de transparente a parcialmente transparente, indicativo da ocorrência de variação sedimentológica ao longo da seqüência.

Esta seqüência sedimentar representativa da dinâmica sedimentar atual (de centena a milhar de anos), existente no estuário santista apresenta variações laterais de espessura, com as maiores espessuras, compreendendo valores de cerca de 2,5 metros.

A variabilidade lateral da composição granulométrica da seqüência de topo, desta unidade, indica a existência de uma dinâmica sedimentar atual mais intensa, impeditiva da deposição da carga em suspensão, bem como uma capacidade de retrabalhamento dos sedimentos arenosos, de fundo, pré-

existentes ou provenientes da erosão das áreas emersa adjacentes. A unidade de topo é separada da unidade subjacente por um refletor forte e contínuo.

A unidade 2 (em contato com a base da unidade de topo) é caracterizada por uma relativa transparência ao sinal sísmico sugerindo uma natureza, predominantemente, argilosa para toda a seqüência.

Esta unidade apresenta nas áreas de maior ocorrência espessuras superiores a 7 metros, separadas da unidade subjacente (unidade 3) por um refletor descontínuo.

Considerado o modelo evolutivo da planície santista proposto por Suguio & Martin (1978), a unidade 2 deve representar os sedimentos transgressivos holocênicos depositados em nível do mar mais alto do que o atual. Desta forma, sua natureza, pouca idade, espessura e pequeno recobrimento, determinam sua baixa compactidade e capacidade de suporte. A compactação diferencial desta seqüência não adensada é a responsável pela inclinação de alguns edifícios assentados sobre estes sedimentos na ilha de Santo Amaro, Santos (Massad, 1986).

A Unidade 3 foi determinada apenas em alguns poucos setores do alto estuário. Corresponde, possivelmente, aos sedimentos arenosos a areno-argilosos, depositados previamente as lamas marinhas da Unidade 2, em fase de nível marinho abaixo do nível atual, possivelmente representando a paleo superfície arenosa pleistocênica superior.

Em profundidade variável ao longo da área de levantamento, com mergulho no sentido do eixo do canal do estuário, está disposta a Unidade 4, com características de reflexividade ao sinal sísmico indicativa de uma seqüência sedimentar composta de termos finos (argilas, silte-argilosos), compactados, com baixo teor de água contido no sedimento. Esta seqüência deve representar a seqüência transgressiva pleistocênica (argilas transgressivas pré-adensadas), identificadas em subsuperfície de quase toda a ilha de Santo Amaro.

A espessura desta unidade não pode ser determinada na impossibilidade da identificação de sua base (contato) com a unidade subjacente.

O embasamento cristalino não foi detectado nos perfis sísmicos executados indicando que na área estuarina, adjacente a entrada do Canal da Bertioga, a rocha sã se encontra disposta a profundidades superiores a 50 metros.

Os levantamentos sonográficos não indicaram a existência de feições de fundo dignas de destaque, a exceção de feições de escavação provocada por embarcações atracadas na área estuarina frontal a ilha Barnabé. A ausência de indicativo de preenchimento atual destas feições de corte, por sedimentos finos dispostos ao longo da coluna d'água do estuário, são outro indicativo do predomínio de uma dinâmica sedimentar mais intensa nas porções centrais, atualmente submersas, das áreas localizadas no alto estuário.

II.4 DINÂMICA DE SEDIMENTAÇÃO NO ESTUÁRIO E BAÍA DE SANTOS

O modelo de circulação e sedimentação no estuário e baía de Santos foi estabelecido por Fúlfaro & Ponçano (1976), que aí realizaram estudos sedimentológicos objetivando a determinação da faciologia do fundo do estuário e da baía, bem como as principais tendências de movimentação desses sedimentos.

No alto estuário santista as águas dos rios provenientes da Serra do Mar adentram ao estuário, em especial na região do canal do porto, originando um predomínio de fluxo unidirecional que se propaga em direção à baía.

Esta descarga líquida e de sólidos em suspensão ocorre, principalmente, pelos rios Cubatão, Perequê, Mogi, Quilombo e Jurubatuba, sendo que medidas de vazão registradas nos anos de 1975 e 1976 indicaram volumes entre 86 m³/s e 260 m³/s (Yassuda, 1991).

Fúlfaro & Ponçano (1976), ao descreverem as características dos fluxos fluviais do alto estuário, formadas pelos rios que têm suas nascentes na Serra do Mar, demonstraram que a faixa de mangue que circunda o estuário detém grande parte da carga transportada por tração liberando, para os canais, apenas a carga transportada em suspensão, de natureza siltico-argilosa.

A área do médio estuário é palco da influência de correntes de maré sofrendo a movimentação provocada por ação marinha a partir da baía de Santos.

Yassuda (1991) destaca que o contato entre o fluxo unidirecional fluvial e o fluxo marinho é vertical, correspondendo a uma zona de quebra de energia de transporte do sistema.

Este quadro, do alto e médio estuário santista, configura um processo geral de sedimentação, em ambiente de baixa energia, com predomínio de sedimentação siltico-argilosa.

De acordo com Fúlfaro & Ponçano (1976), o estuário Santista é uma região de grande equilíbrio no que se refere à sedimentação, onde taxas elevadas de sedimentação ocorrem apenas localmente, destacando-se as extremidades sul dos canais de São Vicente e do Porto, junto à desembocadura da baía, o canal da Bertioga e o Largo do Caneú.

Na baía de Santos, a movimentação de sedimentos é comandada, basicamente, pela movimentação das correntes, resultado da interferência das águas oceânicas com as águas provenientes do estuário sendo, portanto, o mecanismo hidrodinâmico determinante na sua compartimentação sedimentar (Fúlfaro & Ponçano, 1976).

A área localizada a oeste da baía é dominada por correntes de maré e correntes costeiras, dirigidas de SW para NE, sendo que o ramo destas correntes que penetra na baía junto à Ponta de Itaipu atinge a porção mais interna da baía ao longo das praias de São Vicente e Santos.

Ao largo da Ponta de Itaipu são encontrados sedimentos predominantemente arenosos, dispostos em faixas aproximadamente paralelas ao sentido predominante das correntes costeiras, que os transportam e depositam ao longo das praias de São Vicente e Santos.

A leste, a baía é caracterizada por movimentação predominantemente unidirecional, resultante da interação das correntes que se propagam ao longo das praias da baía e das correntes, originalmente fluviais, canalizadas através do estuário.

Nas porções central e leste da baía ocorre o predomínio de sedimentos siltosos e argilosos, transportados pelos fluxos em suspensão, provenientes do estuário, sendo que o fluxo que os transporta barra e associa-se às correntes provenientes da porção mais a oeste, ocasionando a deposição de parte desta

carga de sedimentos finos. Este fluxo ainda é direcionado para a Ponta Manduba onde é defletido para a Ilha da Moela, afastando-se então da linha de costa.

Estudos posteriores executados por Fukumoto (2003) utilizando o conteúdo de matéria orgânica contida nos sedimentos de superfície de fundo do estuário e baía de Santos, após a construção e operação do emissário submarino do José Menino, identificam na área três principais centros de sedimentação, com maior deposição de finos e de matéria orgânica sedimentar: (1) desembocadura do Canal do Porto; (2) oeste da Ponta da Manduba; e (3) Centro-oeste da Baía de Santos (**Figura 2**).

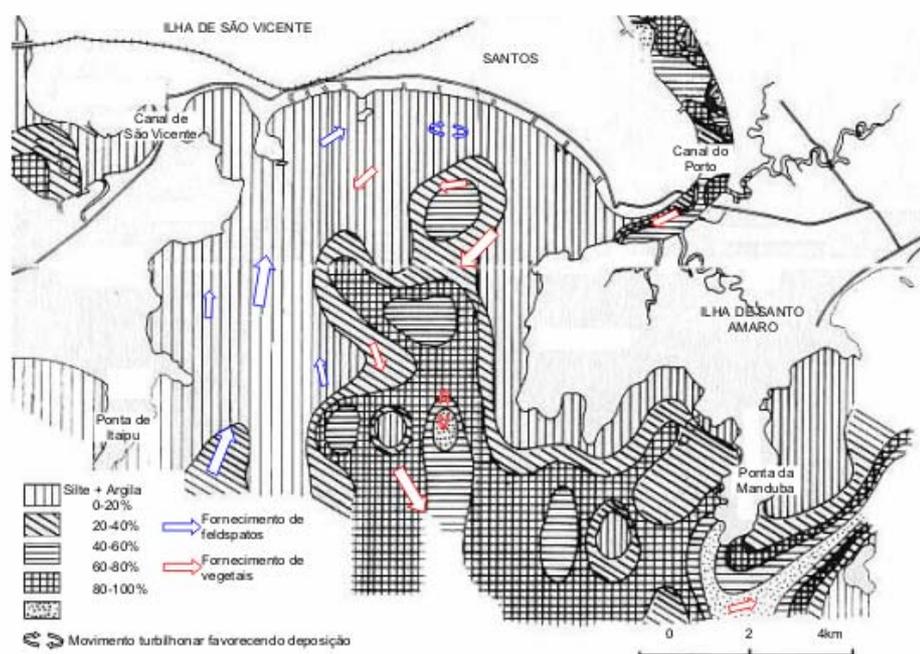


Figura 2 - Circulação na Baía de Santos (Fukumoto, 2003).

Na desembocadura do Canal do Porto, a sedimentação está possivelmente relacionada à quebra da energia do fluxo, no encontro das águas do canal com as da baía. Embora seja grande o aporte continental, há uma contribuição significativa de sedimentos marinhos nesta porção, com os teores de CaCO_3 mais elevados da área. Porém, é importante notar que o maior aporte terrígeno dá-se a NW da Ilha de Santo Amaro, e não exatamente em frente à desembocadura, o que pode ser atribuído a hidrodinâmica da baía.

Na Ponta da Manduba, a sedimentação está relacionada diretamente a

fatores hidrodinâmicos, podendo, porém, ter sofrido influência do descarte do sedimento de dragagem do Canal do Porto, em décadas anteriores.

A sedimentação no centro-oeste da Baía de Santos pode ser explicada de duas formas: (a) pelo controle sedimentar exercido pela hidrodinâmica da área, resultando em aporte de sedimentos marinhos vindos de sudoeste (essa porção da área apresenta significativa contribuição marinha, com altos teores de CaCO_3 e baixas razões C/N); e (b) pela influência do Emissário Submarino do José Menino, construído ao longo da década de 70 do século passado, para conduzir os resíduos de esgoto provenientes da Estação de Tratamento de Água da SABESP. O emissário submarino pode ser responsável pela presença de um núcleo de alta razão C/S no centro da área (maior oxidação), ao contrário do que seria esperado em uma porção onde há significativa sedimentação de materiais pelíticos. O fluxo do emissário submarino pode ter agido como barreira hidráulica, alterando a circulação nessa porção da área, criando um ambiente propício ao desenvolvimento de organismos marinhos, o que justificaria os altos teores de CaCO_3 e as baixas razões C/N.

II.5 TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO ATUAL NO ALTO ESTUÁRIO SANTISTA, BAÍA DE SANTOS, E CANAL DA BERTIOGA

Os resultados acerca das taxas de sedimentação dos últimos 100 anos, obtidas para as seqüências de topo das colunas sedimentares que preenchem os canais estuarinos e a baía de Santos, corresponde a dados publicados na literatura científica, a partir dos resultados obtidos em análises executadas no laboratório de espectrometria gama do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (Hurtado, 2003; Figueira *et al.*, 2004 e Tessler *et al.*, 2006).

As informações compiladas da literatura correspondem a resultados obtidos de colunas sedimentares analisadas por espectrometria gama em seqüências sedimentares rasas (métricas) coletadas no alto estuário santista (CS, CN e SR), ao longo do canal da Bertioiga (03, 09 e 21), e em testemunhos rasos coletados na baía de Santos (6945, T3).

As colunas sedimentares do Alto Estuário foram as que apresentaram, em valores absolutos, as mais altas taxas de sedimentação de todo o estuário (Tabela 1).

Tabela 1 - Taxas de sedimentação encontradas no sistema estuarino de Santos, incluindo o Canal da Bertioga.

Alto Estuário (taxas de sedimentação em cm.a ⁻¹)		
Testemunho	CaCO ₃ ⁽¹⁾	Cs-137 ⁽²⁾
CSII	(0,57±0,10)	-
CN	(2,72±0,08)	(1,34±0,13)
SR	(1,51±0,29)	(1,58±0,15)
CS	(2,62±0,45)	(1,50±0,14)
Canal de Bertioga (taxas de sedimentação em mm.a ⁻¹)		
Testemunho	Pb-210 ⁽²⁾	Cs-137 ⁽²⁾
3	(0,71±0,10)	(1,93±0,15)
9	(2,81±0,98)	(3,16±0,03)
21 (0-8 cm)	(2,33±0,50)	(1,71±0,19)
21 (8-22 cm)	(5,70±1,90)	(6,30±1,90)
Baía de Santos (taxas de sedimentação em mm.a ⁻¹)		
Testemunho	Pb-210 ⁽²⁾	Cs-137 ⁽²⁾
6945	-	(2,70±0,10)
T3	-	(4,00±0,05)

(1) Martins *et al.* (2005)

(2) Figueira *et al.* (2004)

Ao analisarmos a Tabela 1 verificamos que a região do Alto Estuário é a que apresenta taxas de sedimentação da ordem de centímetros por ano, em comparação a outras regiões, como o Canal de Bertioga e Baía de Santos, as quais apresentaram taxas de sedimentação da ordem de milímetros por ano. Verificamos que a região do largo do Canéu, é uma das áreas que possui uma grande deposição recente de todo o sistema.

Este fato indica que mesmo em não se considerando o valor absoluto, é possível afirmar existir, para a última metade do século XX na área em questão, um processo intenso de deposição, superior em ordem de grandeza a todo o sistema costeiro analisado.

Muito importante como elemento elucidador acerca da pouca confiabilidade das elevadas taxas obtidas nesta coluna sedimentar foram obtidas junto aos arquivos da Secretaria de Obras da Prefeitura de Santos e da antiga Companhia de Docas do Porto de Santos, sugerem que em algum momento da segunda metade do século passado, a região do largo do Canéu foi afetada pelos trabalhos de dragagem e/ou deposição do material dragado, do canal do Porto. Neste caso, a atividade antrópica teria funcionado como o agente acelerador do intenso processo deposicional recente detectado nesta região.

Igualmente merecem destaque os resultados obtidos para a coluna sedimentar do Casqueiro (CS). Este testemunho foi coletado em área de intensa ocupação humana (próximo às palafitas do bairro do Casqueiro, em São Vicente), ocupação esta ocorrida de forma irregular, e que afeta diretamente com seus dejetos (lixo, esgoto, fundação das palafitas, etc) a área de amostragem. Mesmo com todos os erros associados, o testemunho CS, juntamente com o CN, são os marcadores de que o alto estuário, especificamente nestas áreas, seja o detentor da taxa de sedimentação mais alta do sistema como um todo.

O valor obtido para a coluna sedimentar do largo de Santa Rita (SR), local de intensa sedimentação lamosa do sistema, reflexo da sua característica fisiográfica (reentrância da margem) e do abrigo a uma dinâmica mais intensa ocorrente ao longo do eixo do canal do Porto.

A ordem de grandeza do valor obtido para o ^{210}Pb e o ^{137}Cs , compatível com as observadas para a região da baía de Santos e canal da Bertioga, indicam um processo deposicional contínuo, de termos essencialmente finos (lamas), mas de

pequena expressão em termos de volume por área. Desta forma, embora o volume total de sedimentos depositados seja expressivo, a grande área exposta a este processo contínuo implica em uma acreção vertical de pequena expressão, ao longo da segunda metade dos anos 1900, comparativamente a áreas deposicionais próximas do alto estuário santista.

Para o Canal da Bertioga, os resultados obtidos para as taxas de sedimentação recente, a partir das emissões gama para os radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs , se mostraram muito coerentes com o conhecimento que se dispõe acerca da hidrodinâmica do canal.

A coluna sedimentar 03 foi coletada na porção do canal mais próxima da cidade de Bertioga, na área de influência do rio Itapanhaú; a coluna 21, na área de confluência do canal da Bertioga com o alto estuário santista e a 09 no largo do Candinho, região mais ampla deste canal.

Muito embora as ordens de grandeza das taxas de sedimentação obtidas para todo o canal se apresentem uniformes, os valores obtidos no segmento junto à confluência com o Canal do Porto e, especialmente, no largo do Candinho, indicam uma tendência de deposição mais acentuada que a obtida para o segmento do canal mais próximo da desembocadura marinha.

O testemunho 03, para o ^{210}Pb , indicou taxas inferiores a 1 mm.a^{-1} , com erros de medida significativos. Para o radioisótopo ^{137}Cs , a taxa de sedimentação é maior que um fator 2 em relação às obtidas com ^{210}Pb . Este é um resultado aparentemente contraditório, mas ainda assim, indicativo de uma sedimentação menos intensa neste segmento do canal, quando comparada às porções mais próximas do canal do Porto.

O testemunho 21 apresenta uma coluna segmentada a cerca de 8 cm de profundidade. As taxas de sedimentação obtidas acima e abaixo deste horizonte apresentam uma significativa diferença dos valores obtidos. Na seqüência de topo, a taxa obtida é de $2,33 \text{ mm.a}^{-1}$, enquanto na coluna inferior o valor está compreendido entre $5,5$ e $6,3 \text{ mm.a}^{-1}$ com uma imprecisão de medida também significativamente maior.

Fato similar a este foi verificado no testemunho 3 (T3), da baía de Santos, localizado nas proximidades da entrada do canal do Porto.

De qualquer forma, fica uma questão relacionada a possíveis eventos episódicos de grande intensidade (dragagem e despejo do material dragado) na dinâmica sedimentar do alto estuário, que possa ter afetado os segmentos contíguos que recebem diretamente a carga em suspensão proveniente do alto estuário, a saber: a confluência do canal do Porto com a baía de Santos (T3), e a confluência do canal da Bertioga com o canal do Porto, testemunho 21.

A partir dos dados obtidos da literatura é possível identificar o segmento do alto estuário santista como a área que apresenta os mais altos valores da taxa de sedimentação para todo o sistema estuarino, que tem ao longo das últimas décadas funcionado como um filtro sedimentar ao conjunto de sedimentos em suspensão (lamas), tração (areias) e matéria orgânica, aportados para o estuário pela drenagem continental e que fluem a partir da vertente marinha da Serra do Mar, e dos efluentes humanos e industriais das áreas que envolvem o sistema.

O segmento do canal da Bertioga compreendido entre a confluência do canal do Porto e o largo do Candinho é a principal área deposicional deste segmento, onde predominam os sedimentos carregados a partir do alto estuário santista, que contém níveis mais elevados dos elementos metálicos.

Na baía de Santos são retidas apenas pequenas porcentagens dos sedimentos em suspensão, lamas ricas em matéria orgânica, provenientes do alto estuário, devendo grande parte dos sedimentos que chegam através do canal do Porto à área da baía ser exportados para o sistema marinho.

Comparativamente, já é possível indicar que se a taxa de sedimentação média para as últimas décadas, utilizando o radionuclídeo ^{137}Cs é, em setores do alto estuário, em média da ordem de $1,5 \text{ cm.a}^{-1}$, a do canal da Bertioga entre sua confluência com o canal do Porto e o largo do Candinho é em média da ordem de $2,3 \text{ mm.a}^{-1}$, a da área da baía de Santos e do segmento complementar do canal da Bertioga é em média da ordem de $3,5 \text{ mm.a}^{-1}$.

A considerar os valores médios de taxa obtidas por espectrometria gama para as seqüências sedimentares do alto estuário e o canal da Bertioga, como representativas da ordem de grandeza das taxas de deposição de todo o estuário e baía de Santos, não existiriam seqüências sedimentares relativas ao processo deposicional correspondente ao período de mais intensa atividade antrópica (~100anos), superiores a 1,5 metro de espessura.

Considerando os mecanismos de adensamento de colunas sedimentares, e possíveis processos de percolação aquosa vertical nas colunas, não seriam encontrados níveis de sedimentos enriquecidos antropicamente em metais a profundidades superiores a 2,0 metros, contados a partir da atual superfície de fundo. Estas extrapolações não se aplicam a regiões do alto estuário vinculadas ao canal de acesso a COSIPA, que apresentam processos de dinâmica sedimentar diferenciados em relação a todas as regiões de entorno.

II.6 METAIS CONTIDOS NOS SEDIMENTOS DO FUNDO ATUAL E DAS COLUNAS SEDIMENTARES HOLOCÊNICAS QUE PREENCHEM OS CANAIS DO ESTUÁRIO SANTISTA

Todos os levantamentos acerca dos teores de metais contidos nos sedimentos da atual superfície de fundo, e das camadas de topo do pacote sedimentar quaternário, que preenchem os canais lagunares do estuário santista, afirmam que as concentrações anômalas de metais pesados, potencialmente tóxicos, podem ser potencialmente creditadas a três áreas fontes distintas:

- os sedimentos provenientes da erosão das rochas da Serra do Mar;
- os efluentes gerados pela indústria da região e ou,
- os sedimentos marinhos carregados a partir da plataforma interna próxima.

Os estudos disponíveis sobre os mecanismos de dinâmica sedimentar do estuário possibilitam afirmar que os níveis de contaminação dos sedimentos de fundo existentes no alto estuário, não podem ter origem nos materiais atualmente dispostos na baía de Santos e na plataforma continental contígua, visto a dinâmica do sistema não possibilitar a importação destes sedimentos, para a região do alto estuário.

O fluxo residual no sistema estuarino santista contempla uma resultante para fora do estuário, e não fluxos que possibilitassem o transporte no sentido oposto.

As águas dos rios provenientes da Serra do Mar adentram o estuário, em especial na região do canal do porto, originando um predomínio de fluxo unidirecional que se propagam em direção à baía.

As rochas do embasamento da Serra do Mar apresentam baixos níveis dos metais analisados, não sendo conhecida na literatura nenhuma anomalia metálica, a qual pudesse ser atribuída uma área fonte potencial para os níveis metálicos encontrados nos sedimentos do alto estuário. As rochas presentes na Serra do Mar contêm metálicos em sua estrutura, como elementos formadores das rochas, e não como elementos principais de alguma litologia.

Ainda assim, as concentrações dos elementos metálicos nos sedimentos provenientes do complexo serrano, são menores que as existentes nas rochas, visto que como produtos de lixiviação, de onde são liberadas para o meio, o são em proporções irregulares.

Os metais se associam às argilas e matéria orgânica, se depositando em zonas de baixa energia do alto estuário, ou sendo exportados a partir destas áreas para além dos limites do Canal da Bertioiga e da baía de Santos. Desta forma, todos os estudos são unânimes em afirmar que os altos níveis de concentração de elementos metálicos, contidos nos sedimentos de superfície de fundo dos canais, derivam substancialmente do incremento da atividade antrópica decorrente da ocupação, e industrialização, do entorno do estuário, a partir do início dos anos 1950.

II.6.1 Caracterização das rochas da Serra do Mar

Na Serra do Mar a litologia predominante de acordo com Hasui & Sadowski (1976) e Hasui & Oliveira (1984) é composta por rochas metamórficas com um grau variável, desde alto grau nas rochas do Complexo Costeiro, até as consideradas de grau médio do bloco Juquitiba. Separando-as, nitidamente, está o alinhamento da Falha de Cubatão, associada a metassedimentos de baixo grau.

A distribuição das litologias predominantes (Hasui & Sadowski, 1976 e Hasui & Oliveira, 1984), cronologicamente do mais antigo para o mais recente:

Rochas da subzona Serra do Mar: Calco-silicatadas; Granada-silimanita-micaxistos, cloritados e migmatizados; Muscovita-biotita-xistos e quartzo-xistos, alterados com silimanita, localmente migmatizados; Granito-gnaisse granatíferos; Milonito-gnaisses bandados, com intercalações quartzíticas e calco silicatadas.

Rochas associadas ao falhamento do Cubatão: Quartzitos sacaróides; Granada-clorita-biotita-xisto, mármore e filonitos cataclasados, com faixas milonitizadas.

Rochas do Complexo Costeiro: Gnaisses bandados com horblenda, biotita, plagioclásio e quartzo; Granito-gnaisses com porfiróides de microclinio; Milonito-gnaisses.

As rochas descritas apresentam diferentes estágios de alteração, que variam conforme a litologia. Entretanto os estágios de alteração, de maneira geral são mais intensos junto ao Planalto Paulista e vão decrescendo à medida que se desce em cota. Sabe-se que na região do planalto essa alteração atinge mais de uma centena de metros de profundidade (Geotécnica, 1968).

Ao longo da faixa serrana, recobrimo as rochas pré-cambrianas, ocorrem sedimentos holocênicos delgados (solos coluviais), os quais sustentam a vegetação das encostas (Rodrigues, 1992). Esses solos são constituídos basicamente de materiais areno-silte-argilosos ou silte-argilosos, com coloração variando do marrom médio ao marrom-acinzentado possuindo espessura geralmente inferior a 1,5 m.

Nos vales locais, ocorrem aluviões holocênicos continentais. Estes aluviões apresentam sedimentos grosseiros, formados por seixos e matacões que representam bem a litologia da região. Seus diâmetros variam de centimétricos até 2,0m, entremeados por areia grossa. As frações mais finas (silte e argila) são carregadas em suspensão pelos fluxos d'água (Suguio, 1978).

Na porção correspondente à planície costeira, se fazem presentes os sedimentos quaternários marinhos, representados por sucessões de areia clara e argila escura orgânica, com espessuras variáveis.

Como o intemperismo é a fonte dos níveis de base “background” ou teores médios em determinadas áreas, é de grande importância a distinção entre o intemperismo geológico natural e o enriquecimento do metal devido às atividades humanas (MESTRINHO, 1998). A **Tabela 2** apresenta os teores médios de metais pesados nos principais tipos de rochas.

Tabela 2 - Teores médios de metais pesados (em mg.kg^{-1}) nos principais tipos de rochas (ALLOWAY, 1990, adaptado por MESTRINHO, 1998).

	Crosta terrestre	Ultra máfica	Máfica	Rochas ígneas		Rochas Sedimentares	
				Granito	Argilito	Arenito	Folhelho
Cd	0,10	0,12	0,13	0,09	0,028	0,05	0,22
Cr	100	2980	200	4	11	35	90
Cu	50	42	90	13	5,5	30	39
Mn	950	1040	1500	400	620	460	850
Pb	14	14	3	24	5,7	10	23
Zn	75	58	100	52	20	30	120

Não existem dados de valores de “background” diretamente vinculados ao complexo rochoso da Serra do Mar, disposto no entorno do estuário santista. Porém, por similaridade é possível considerar os valores obtidos para as rochas do complexo do litoral sul paulista, e Vale do Ribeira, sabidamente mais enriquecidas em elementos metálicos associados a jazimentos minerais, como um padrão de referência de um “background” regional para todo o Complexo de rochas da Serra do Mar.

De acordo com Moraes (1997), o “background” do cobre é de 18 ppm e o do zinco de 47 mg.kg^{-1} , e a média regional do chumbo de 16 mg.kg^{-1} .

Para a região das minas desativadas do Alto Vale do Ribeira, Corsi (1999) indica como valores médios de concentrações de 35 ppm de para o Chumbo e 70 ppm para o Zinco, ou seja, valores cerca de duas vezes os valores de “background” regional apresentados nos estudos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Moraes, 1997).

II.6.2 As concentrações de metais contidos em sedimentos da atual superfície de fundo dos canais estuarinos e da baía de Santos

Diversos foram os levantamentos geoquímicos realizados objetivando identificar os valores das concentrações de macro e micro elementos contidos nos sedimentos do fundo atual dos canais do estuário santista. Estes levantamentos possibilitaram não apenas o conhecimento científico dos teores dos elementos metálicos contidos nos sedimentos dos canais lagunares, bem como serviram de índices para identificar conjunto de sedimentos "contaminados", ou não, para fins de licenciamento ambiental. Desta forma, são limitados os conjuntos de dados disponibilizados em artigos da literatura científica, sendo que os EIA/RIMA e relatórios CETESB se constituem na fonte mais sistematizada de dados disponíveis.

O conjunto de referências bibliográficas disponíveis na literatura de todos os compartimentos do estuário santista, canal da Bertioga e plataforma continental rasa contígua, são apresentados em anexo.

Dentre todos os levantamentos merecem destaque pelo volume de informações contidas, e ou pela sistematização e confiabilidade de resultados, os realizados pela CETESB (1997, 1998 e 1999), Siqueira (2003), Hurtado (2003), I.O.USP (2002 e 2004), Embraport/Consultoria Paulista (2004) e Luiz Silva *et al.* (2006) para o alto estuário, canal do porto e baía de Santos, e Hurtado (2003) e Quinaglia (2006), para o canal da Bertioga.

II.6.2.1 Alto estuário santista

São muito limitadas em relação a confiabilidade de resultados, uma estatística que possibilite a obtenção dos valores médios dos teores de metais contidos nos sedimentos do alto estuário. Esta limitação está associada a impossibilidade de recuperação da metodologia de análise empregada na obtenção das concentrações, na falta de indicação da existência, ou não, de análise de amostras de referências certificadas que conferem confiabilidade aos

resultados e, principalmente, a disposição espacial das redes de amostragem que não seguem a um padrão de recobrimento geral da área. As amostragens no alto estuário normalmente apresentam um padrão de coleta associado a questões relacionadas a estudos ambientais, vinculadas a empreendimentos diversos (Embraport, COSIPA, etc), ou a simples caracterização de níveis de concentração em diferentes segmentos dos canais estuarinos (CETESB, 1997, 1998 e 1999).

As localizações dos pontos de amostragem, dos estudos realizadas pela CETESB, se encontram na **Figura 3**.

Tabela 3 -Concentrações de metais pesados em mg.kg^{-1} em rios do estuário santista
(Luiz-Silva et al., 2006).

Elementos	Alto estuário
As	8,50
Ba	81,0
Co	9,60
Cu	40,3
Fe	5,10
Hg	0,80
Mn	932
Ni	22,4
Pb	34,1
V	41,7
Zn	145

II.6.2.2 Canal do Porto

A coleta de amostras de sedimentos realizada ao longo do canal do porto foi realizada nos dias 29 e 30 de dezembro de 1997, por técnicos da CETESB, na presença de um assistente técnico do Ministério Público Estadual e representante da Procuradoria do Estado.

As áreas de amostragem foram demarcadas com auxílio de um GPS e tentam cobrir a extensão total do canal do porto e foram assim descritas:

- Ponto 01: Alemoa (46°22'/23°54');
- Ponto 02: Alemoa – píer (46°22'2"/23°55');
- Ponto 03: Saboo/Valongo (46°20'05"/23°20'05");
- Ponto 04: Ilha Barnabé (46°16'09"/23°55'06");
- Ponto 05: TEFER (46°18'50"/23°57'20");
- Ponto 06: Armazéns 31/32/33 (46°17'37"/23°58'27");
- Ponto 07: Saída do Canal (46°19'30"/23°59'60").

A coleta do material foi realizada de acordo com os procedimentos rotineiros de dragagem, da CODESP, amostrando assim sedimentos de diferentes profundidades (até dois metros) e sua conseqüente homogeneização.

As análises granulométricas foram realizadas segundo norma técnica L6.160 (CETESB, 1995). Quanto à química, realizou-se análise na massa bruta, lixiviado e solubilizado, de acordo com CETESB (1994), respectivamente, dos parâmetros cádmio, chumbo, cromo, mercúrio, níquel e zinco.

As concentrações obtidas para os sedimentos depositados ao longo do canal do porto apresentam as mesmas restrições, de confiabilidade e representatividade pontual, das descritas para os sedimentos de fundo do alto estuário (**Tabela 5**).

Tabela 4 - Valores mínimos e máximos, em mg.kg^{-1} , de concentração de metais contidos nos sedimentos da superfície de fundo atual do Canal do Porto (CETESB, 1997).

Elemento	valor mínimo	valor máximo
Cu	2,93	100
Cr	1,19	602
Pb	3,75	66
Zn	10	221
Cd	$\leq 0,05$	1,5
As	0,1	3
Ni	3	17
Hg	$\leq 0,03$	0,7

Este pequeno conjunto de dados representativo dos sedimentos do canal do porto reveste-se ainda de maior imprecisão na medida em que a caracterização sedimentar do material analisado é insuficiente para indicar as concentrações de lama, retentora de metais, e de areias inertes. Desta forma, teores elevados podem simplesmente representar pequenas manchas de lama disposta em meio a predomínio de fundos arenosos, e o inverso em relação aos baixos teores obtidos.

II.6.2.3 Baía de Santos

Os levantamentos mais completos realizados na baía de Santos foram executados por Hurtado (2003) e Requena (2007), que interpretaram o mesmo conjunto de amostras de superfície do fundo atual. A tabela com os valores de metal encontrados nos sedimentos de fundo da Baía de Santos está apresentada no anexo 1.

As análises dos metais nas amostras de sedimento foram realizadas pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo no laboratório de análises ambientais Ceimic (em São Paulo, Brasil, e Narragansett, Rhode Island, EUA) e no laboratório de análises ambientais Actilab (Canadá), conforme os procedimentos descritos abaixo:

As análises dos sedimentos seguiram a metodologia EPA 3050b. Aproximadamente de 1 a 2 g de sedimento seco foram digeridos com 10 mL de HNO₃ (1:1) sob aquecimento à 95 °C por 15 minutos. Em seguida, a solução foi resfriada e adicionou-se 5 mL de HNO₃ concentrado por 30 minutos. Foram adicionados 5 mL HNO₃ concentrado até a completa oxidação da amostra pelo HNO₃, verificado pela ausência de vapores marrons. A solução foi evaporada até 5 mL, resfriada e adicionou-se 2 mL de água e 3 mL de H₂O₂ 30%, para em seguida ser aquecida. O procedimento continuou com a adição de um volume total de 10 mL de H₂O₂ 30% até a completa eliminação da matéria orgânica. Finalmente a digestão foi concluída com adição de 5mL de ácido clorídrico concentrado. A solução foi filtrada, em papel de filtro Whatman 41, depois foi diluída para 100 mL, procedendo-se então a análise por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), conforme metodologia EPA 6010C.

A análise do Hg seguiu o procedimento EPA 7471a, que é o método de absorção atômica por geração de vapor frio, no qual se baseia na absorção da radiação (253,7 nm) pelo vapor de Hg. Nesta metodologia, o Hg é reduzido para o seu estado elementar e aerado a partir de um sistema fechado por uma célula posicionada no caminho da luz do espectrômetro de absorção atômica. A absorbância é medida em função da concentração de Hg.

Na avaliação dos resultados, Requena (2007) em seu trabalho dividiu os elementos analisados em dois grupos, macro e micro elementos, a saber:

-Macroelementos: caracterizados por elementos com maiores concentrações nas amostras e, portanto, apresenta unidade de medida em porcentagem (%). Neste grupo tem-se o Fe e Ti;

-Microelementos: caracterizados por elementos traços, ou seja, elementos que apresentam pequenas concentrações nas amostras e cujas unidades são apresentadas na forma de mg.kg⁻¹. Estão incluídos neste grupo: As, Ba, Co, Sb, Sc, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, V e Hg. Os resultados das medidas de resumo dessas variáveis são apresentados na **Tabela 6**.

Tabela 5 - Resumo das concentrações médias dos elementos nas amostras de sedimentos da atual superfície de fundo da baía de Santos (Requena, 2007).

Grupos	Variáveis	Média	Mediana	D.Padrão	Mínimo	Máximo
Microelementos (mg.kg ⁻¹)	As	8,98	8,55	3,47	3,80	20,80
	Ba	415,74	420,00	115,01	130,00	700,00
	Co	6,69	6,00	3,21	3,00	18,00
	Sb	0,28	0,20	0,21	0,10	0,80
	Sc	4,98	3,45	2,86	2,10	13,10
	Cu	13,37	10,17	8,78	4,24	42,12
	Mn	304,83	229,20	248,13	10,61	1085,04
	Ni	6,36	3,45	5,87	0,10	22,56
	Pb	14,63	12,73	10,43	0,10	40,61
	Zn	47,02	35,75	42,85	9,31	274,22
	V	27,13	19,45	22,21	0,10	91,92
Hg	0,04	0,01	0,05	0,00	0,27	
Macroelementos (%)	Ti	0,19	0,15	0,12	0,01	0,47
	Fe	2,05	1,76	0,75	1,11	4,16
Granulometria (%)	CaCO₃	7,54	5,93	4,73	3,37	27,43
	Silte	14,00	4,64	14,58	0,06	48,60
	Argila	0,72	0,00	0,98	0,00	4,42
	Areia	74,65	87,01	19,99	20,72	94,73
Matéria orgânica (%)	C	0,70	0,30	0,87	0,10	3,62
	N	0,06	0,02	0,08	0,00	0,36
	S	0,12	0,10	0,14	0,01	0,74

O Ba e Mn apresentam maiores médias e também maiores variabilidades dentre os microelementos. Maiores concentrações desses elementos são observadas na saída do Canal do Porto e região central da baía. O Fe apresenta maior concentração que o Ti no grupo dos macroelementos. Estes elementos concentram-se principalmente na saída do canal do porto, região central da baía e Ponta da Manduba.

Comparando-se as médias de concentração dos metais contidos nos sedimentos de fundo da baía de Santos, com os dados obtidos por Luiz Silva *et al.*(2006), obtidos em rios que deságuam no alto estuário, é possível concluir que significativa quantidade de sedimentos em suspensão, ricos em matéria orgânica, enriquecidos em metais, não chegam à baía de Santos devido a fatores como baixa energia na circulação das águas (**Tabela 7**).

Tabela 6 - Comparação da concentração média de alguns metais entre a baía de Santos e alto estuário ⁽¹⁾Requena (2007), ⁽²⁾Luiz-Silva *et al.* (2006)).

Elementos	Baía de Santos ⁽¹⁾	Alto estuário ⁽²⁾
As (mg.kg ⁻¹)	8,98	8,50
Ba (mg.kg ⁻¹)	415,74	81,00
Co (mg.kg ⁻¹)	6,69	9,60
Cu (mg.kg ⁻¹)	13,37	40,30
Fe (%)	2,05	5,10
Hg (mg.kg ⁻¹)	0,04	0,80
Mn (mg.kg ⁻¹)	304,83	932,10
Ni (mg.kg ⁻¹)	6,36	22,40
Pb (mg.kg ⁻¹)	14,63	34,10
V (mg.kg ⁻¹)	27,13	41,70
Zn (mg.kg ⁻¹)	47,02	145,00

O Ba apresenta maior concentração na baía de Santos indicando uma outra fonte de Ba para a região.

Uma visualização gráfica da distribuição das variáveis estudadas (**Figuras 4 e 5**) aponta para os desvios de assimetria e achatamento da distribuição indicando a não normalidade dos dados. As variáveis que melhor se aproximam da distribuição normal são Ba e Pb. Uma avaliação dos gráficos de barras de dispersão de valores (*box plot*) para as variáveis indica com maior clareza a distorção dos dados em relação à distribuição normal e aponta para observações atípicas em algumas variáveis. Estas observações, características em algumas amostras, influenciam no desvio da média aritmética em relação à mediana.

Para análise dos histogramas, observa-se no eixo das abscissas (eixo x) a concentração média em determinado intervalo representado pelas colunas. A altura da coluna indica a quantidade de amostras. Tomando-se como exemplo a distribuição do As, a primeira coluna indica aproximadamente 5 amostras com concentração entre 3 e 5 mg.kg⁻¹ e a segunda 14 amostras com concentração entre 5 e 7 mg.kg⁻¹. Abaixo do histograma está a representação da distribuição através do *box plot*. Este gráfico indica desvios de assimetria e observações que se afastam da concentração de pontos, mostrando que, por exemplo, no caso do As, a maioria das amostras possui uma concentração de 8 mg.kg⁻¹.

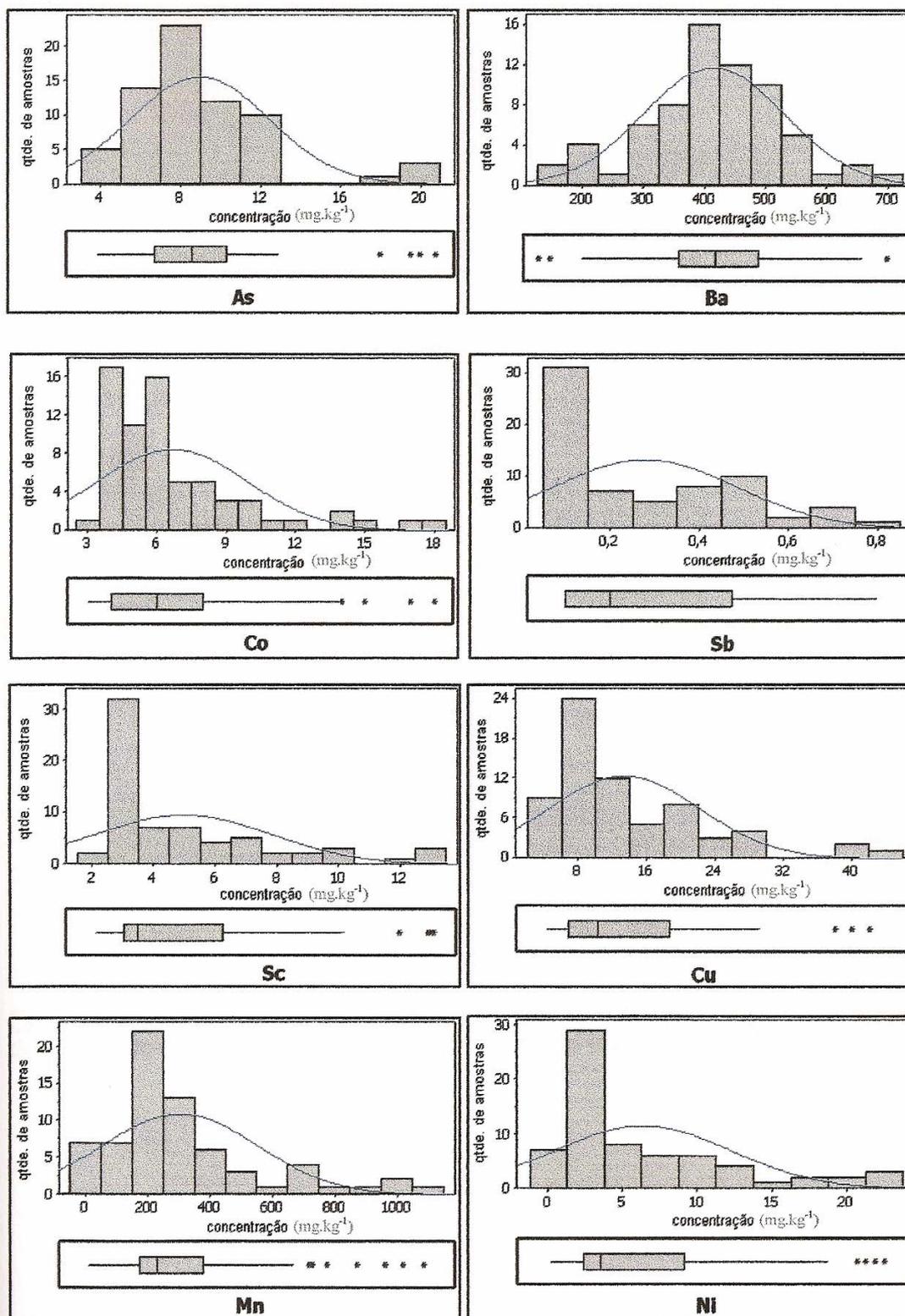


Figura 4 - Distribuição dos metais (As, Ba, Co, Sb, Sc, Cu, Mn e Ni) contidos nas amostras de sedimentos marinhos da baía de Santos (mg.kg⁻¹).

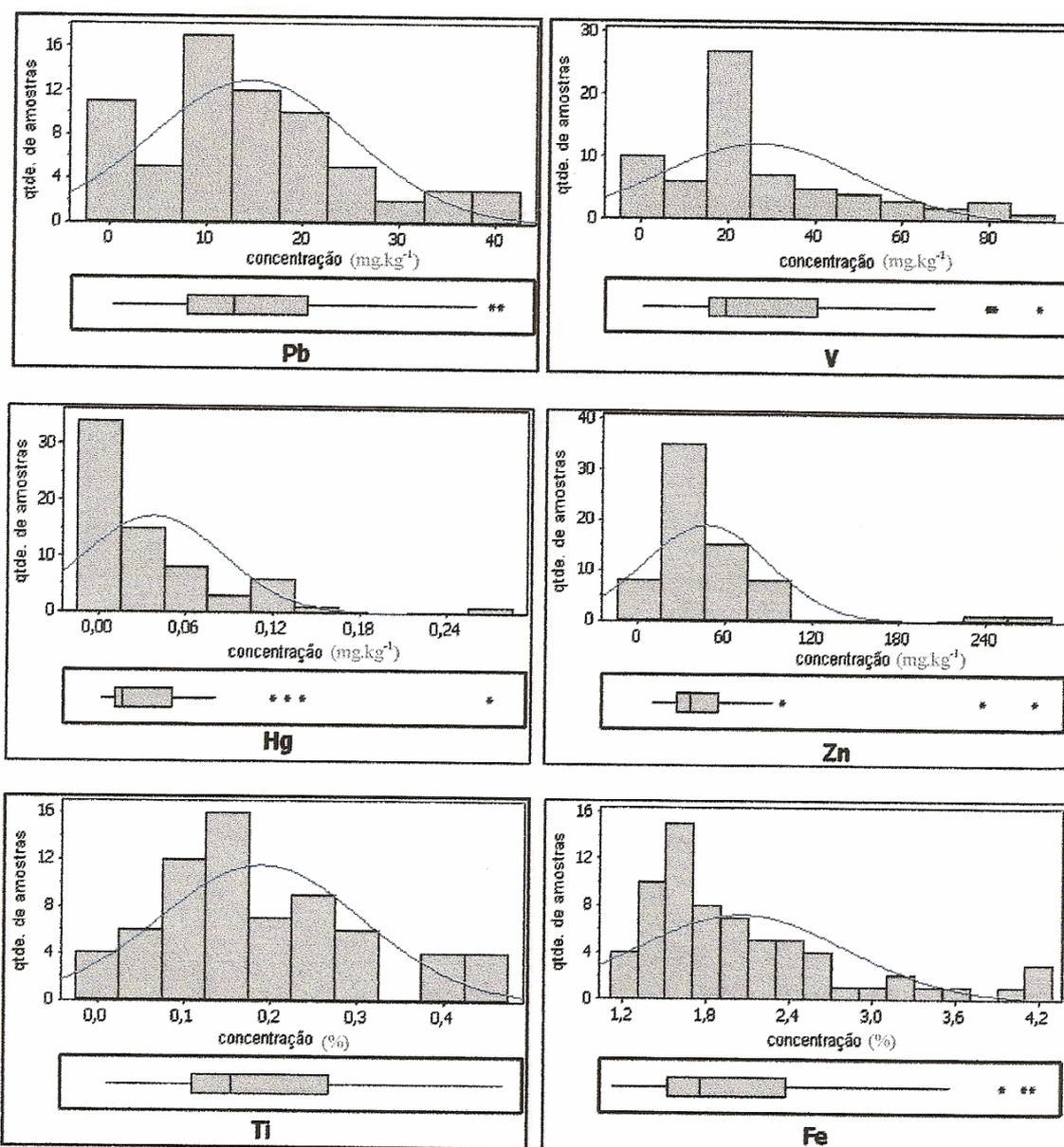


Figura 5 - Distribuição dos metais (Pb, V, Hg, Zn, Ti, e Fe) contidos nas amostras de sedimentos marinhos da baía de Santos (mg.kg^{-1}).

A **Tabela 8** mostra os coeficientes de correlação entre os elementos e materiais estudados na baía de Santos. A variável Ba apresentou uma associação fraca ou inexistente com as demais variáveis. O comportamento diferenciado do Ba tanto na forma de distribuição quanto na fraca associação com as demais variáveis pode ser explicado por ser a água do mar a principal fonte desse elemento, fato este, observado por Pellegatti (2000). Esta hipótese é reforçada com a observação de que a concentração de Ba é maior na baía de Santos do

que no alto estuário. A areia não possui afinidade geoquímica com os metais e suas associações fortes, porém negativas, indicam que regiões com maiores concentrações de areia são caracterizadas por menores concentrações de metais.

Tabela 7 - Coeficiente de correlação para as variáveis estudadas nas amostras de sedimentos marinhos da baía de Santos.

Variáveis	As	Ba	Co	Sb	Sc	Cu	Mn	Ni	Pb	V	Hg	Zn	Ti	Fe	CaCo3	Silte	Argila	Areia	C	N	S
As	1,00	-0,29	0,80	0,45	0,83	0,33	0,74	0,76	0,64	0,73	0,59	0,26	0,61	0,86	0,32	0,61	0,54	-0,63	0,83	0,81	0,78
Ba	-0,29	1,00	-0,36	0,04	-0,29	-0,27	-0,21	-0,24	-0,14	-0,18	-0,32	-0,14	-0,18	-0,24	-0,28	-0,14	-0,16	0,20	-0,37	-0,36	-0,34
Co	0,80	-0,36	1,00	0,44	0,91	0,56	0,83	0,83	0,75	0,81	0,71	0,32	0,77	0,89	0,56	0,74	0,66	-0,79	0,90	0,89	0,73
Sb	0,45	0,04	0,44	1,00	0,42	0,12	0,44	0,45	0,42	0,45	0,24	0,07	0,39	0,40	0,16	0,36	0,24	-0,35	0,43	0,43	0,34
Sc	0,83	-0,29	0,91	0,42	1,00	0,52	0,87	0,91	0,80	0,88	0,78	0,31	0,82	0,97	0,53	0,87	0,77	-0,89	0,95	0,94	0,81
Cu	0,33	-0,27	0,56	0,12	0,52	1,00	0,43	0,47	0,32	0,37	0,47	0,43	0,41	0,48	0,52	0,45	0,40	-0,52	0,52	0,53	0,40
Mn	0,74	-0,21	0,83	0,44	0,87	0,43	1,00	0,96	0,93	0,96	0,77	0,33	0,94	0,87	0,46	0,67	0,54	-0,71	0,89	0,90	0,75
Ni	0,76	-0,24	0,83	0,45	0,91	0,47	0,96	1,00	0,92	0,97	0,78	0,32	0,93	0,90	0,49	0,78	0,66	-0,81	0,92	0,91	0,82
Pb	0,64	-0,14	0,75	0,42	0,80	0,32	0,93	0,92	1,00	0,96	0,68	0,27	0,95	0,81	0,43	0,68	0,58	-0,70	0,79	0,78	0,70
V	0,73	-0,18	0,81	0,45	0,88	0,37	0,96	0,97	0,96	1,00	0,72	0,31	0,96	0,88	0,42	0,74	0,63	-0,76	0,87	0,86	0,77
Hg	0,59	-0,32	0,71	0,24	0,78	0,47	0,77	0,78	0,68	0,72	1,00	0,29	0,74	0,76	0,51	0,67	0,54	-0,71	0,77	0,77	0,69
Zn	0,26	-0,14	0,32	0,07	0,31	0,43	0,33	0,32	0,27	0,31	0,29	1,00	0,38	0,32	0,13	0,23	0,18	-0,24	0,33	0,32	0,34
Ti	0,61	-0,18	0,77	0,39	0,82	0,41	0,94	0,93	0,95	0,96	0,74	0,38	1,00	0,81	0,45	0,70	0,60	-0,73	0,82	0,81	0,73
Fe	0,86	-0,24	0,89	0,40	0,97	0,48	0,87	0,90	0,81	0,88	0,76	0,32	0,81	1,00	0,46	0,81	0,72	-0,83	0,93	0,92	0,80
CaCO ₃	0,32	-0,28	0,56	0,16	0,53	0,52	0,46	0,49	0,43	0,42	0,51	0,13	0,45	0,46	1,00	0,53	0,54	-0,69	0,51	0,51	0,35
Silte	0,61	-0,14	0,74	0,36	0,87	0,45	0,67	0,78	0,68	0,74	0,67	0,23	0,70	0,81	0,53	1,00	0,95	-0,98	0,76	0,73	0,66
Argila	0,54	-0,16	0,66	0,24	0,77	0,40	0,54	0,66	0,58	0,63	0,54	0,18	0,60	0,72	0,54	0,95	1,00	-0,93	0,65	0,62	0,57
Areia	-0,63	0,20	-0,79	-0,35	-0,89	-0,52	-0,71	-0,81	-0,70	-0,76	-0,71	-0,24	-0,73	-0,83	-0,69	-0,98	-0,93	1,00	-0,80	-0,78	-0,67
C	0,83	-0,37	0,90	0,43	0,95	0,52	0,89	0,92	0,79	0,87	0,77	0,33	0,82	0,93	0,51	0,76	0,65	-0,80	1,00	0,99	0,87
N	0,81	-0,36	0,89	0,43	0,94	0,53	0,90	0,91	0,78	0,86	0,77	0,32	0,81	0,92	0,51	0,73	0,62	-0,78	0,99	1,00	0,83
S	0,78	-0,34	0,73	0,34	0,81	0,40	0,75	0,82	0,70	0,77	0,69	0,34	0,73	0,80	0,35	0,66	0,57	-0,67	0,87	0,83	1,00

Valores em negrito referem-se a correlações não significantes para $p < 0,05$

A distribuição espacial das concentrações dos metais na baía de Santos é apresentada em Hurtado (2003) (**Figuras 6 a 16**). Nas figuras estão apresentados valores em ppm que possuem correspondência com a unidade mg.kg^{-1} .

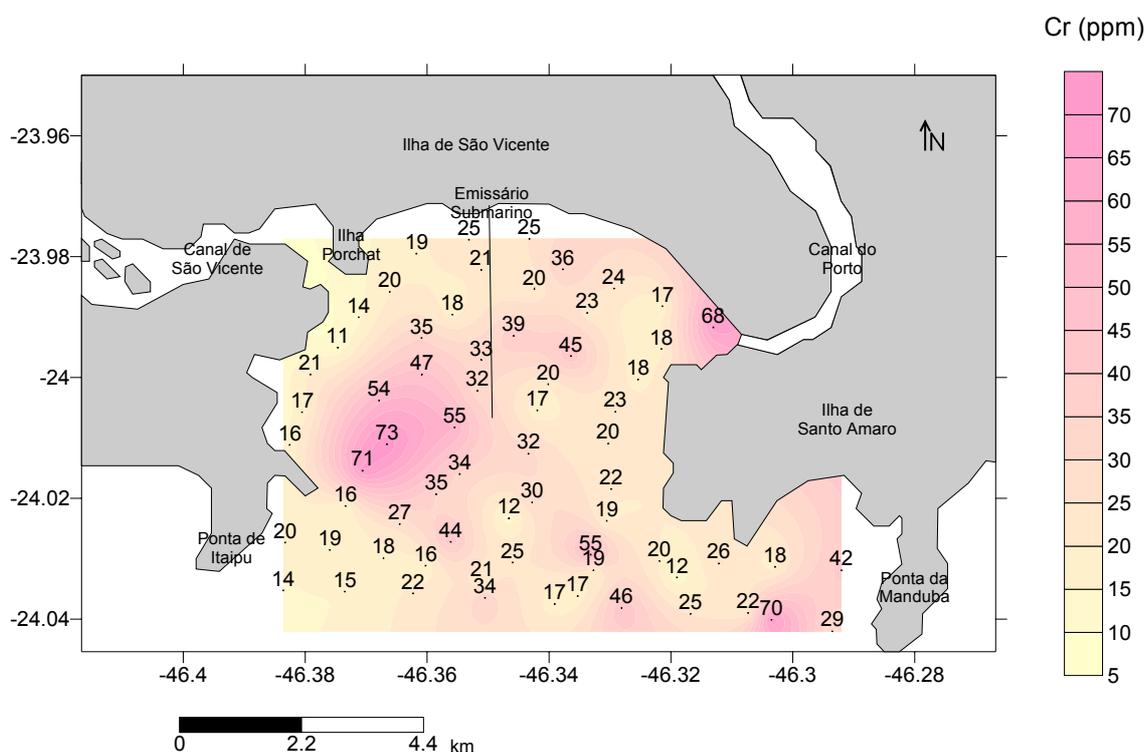


Figura 6 - Distribuição do Cromo na Baía de Santos.

A concentração máxima do Cromo foi de 73 mg.kg^{-1} , a concentração mínima de 11 mg.kg^{-1} com uma mediana de $24,3 \text{ mg.kg}^{-1}$.

As maiores concentrações de Cr foram encontradas nas porções Centro-Oeste da área, na desembocadura do Canal do Porto, e próximo a Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 65 mg.kg^{-1} .

As menores concentrações foram encontradas nas proximidades do Canal de São Vicente, nas proximidades da Ponta de Itaipu e nas proximidades da Ilha Santo Amaro, sendo que nestes locais os valores não ultrapassam os 25 ppm.

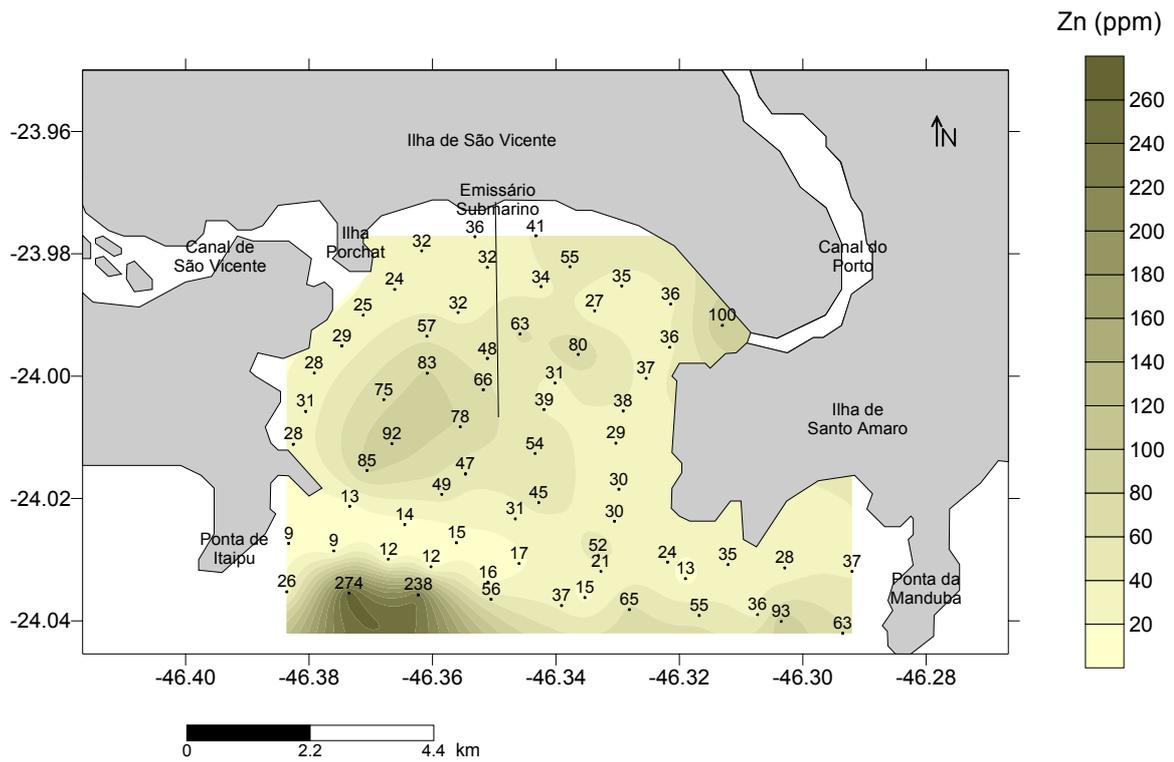


Figura 7 - Distribuição do Zinco na Baía de Santos.

A concentração máxima do Zinco foi de 274 mg.kg^{-1} , a concentração mínima de 9 mg.kg^{-1} com uma mediana de 31 mg.kg^{-1} .

As maiores concentrações de Zn foram encontradas nas porções Centro-Oeste da área, na desembocadura do Canal do Porto e próximo a Ponta de Itaipu com valores que ultrapassam os 90 mg.kg^{-1} .

As menores concentrações foram encontradas nas proximidades da Ilha de São Vicente, na desembocadura do Canal de São Vicente e nas proximidades da Ilha de Santo Amaro, com valores que não ultrapassam os 35 mg.kg^{-1} .

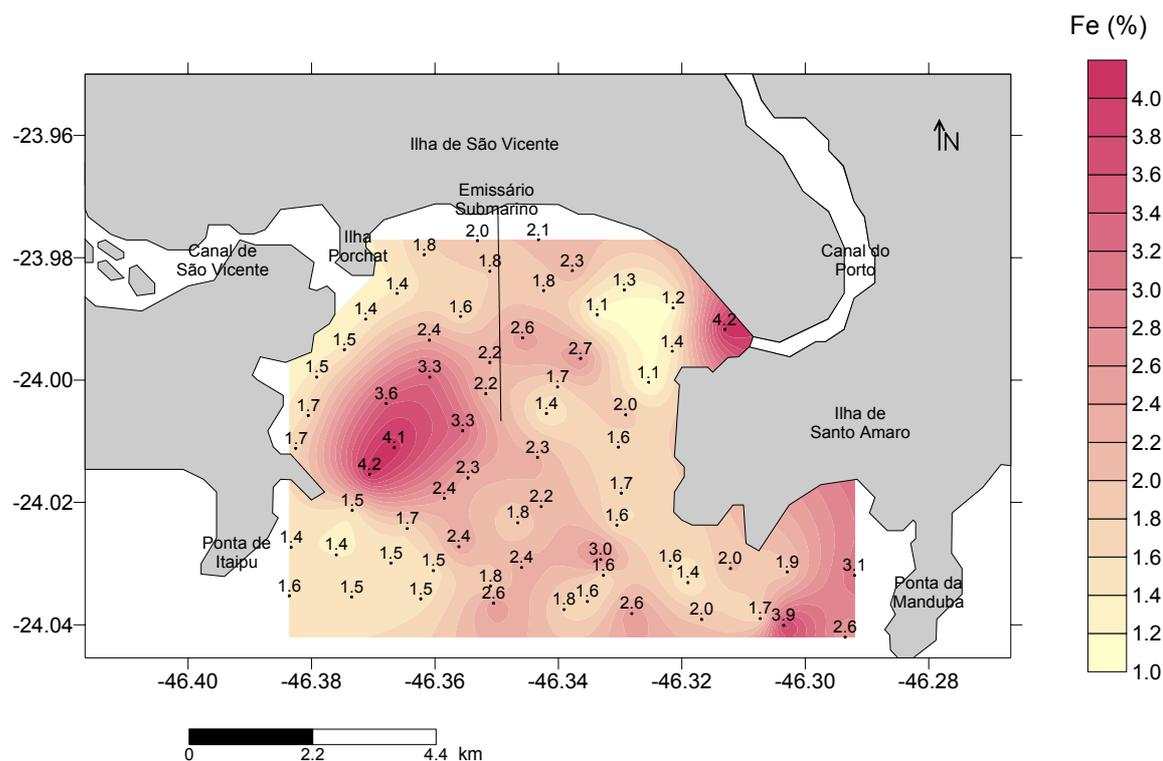


Figura 8 - Distribuição do Ferro na Baía de Santos.

A concentração máxima do Ferro foi de 4,16%, a concentração mínima de 1,11% com uma mediana de 1,87%.

As maiores concentrações de Fe foram encontradas na porção centro-oeste da área, na desembocadura do Canal do Porto e próximas a Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 3,9%.

As menores concentrações foram encontradas na desembocadura do Canal São Vicente, próximo a Ponta de Itaipu e NE da área, com valores que não ultrapassam os 1,5%.

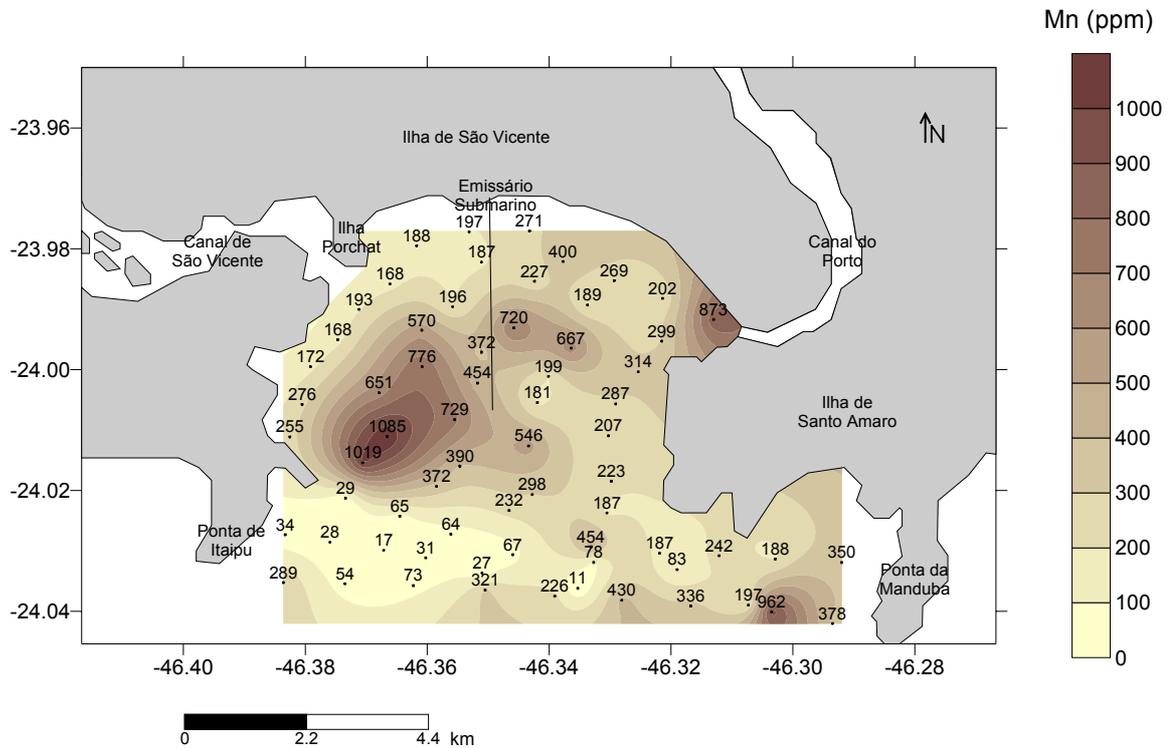


Figura 9 - Distribuição do Manganês na Baía de Santos.

A concentração máxima do Manganês foi de 1085 mg.kg^{-1} , a concentração mínima de 11 mg.kg^{-1} com uma mediana de 202.6 mg.kg^{-1} .

As maiores concentrações de Mn foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto e nas proximidades da Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 900 mg.kg^{-1} .

As menores concentrações foram encontradas na desembocadura do Canal de São Vicente e nas proximidades da Ponta de Itaipu, com valores que não ultrapassam os 30 mg.kg^{-1} .

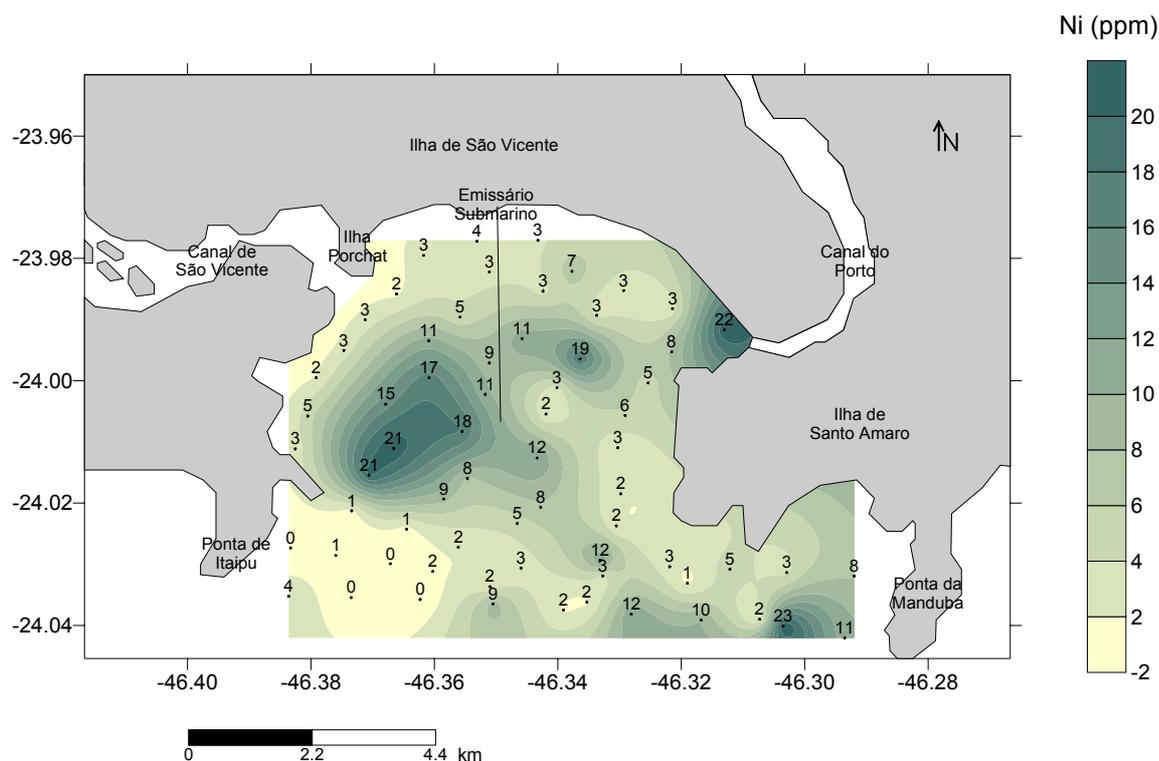


Figura 10 - Distribuição do Níquel na Baía de Santos.

A concentração máxima do Níquel foi de 23 mg.kg^{-1} , a concentração mínima de 1 mg.kg^{-1} com uma mediana de $4,1 \text{ mg.kg}^{-1}$.

As maiores concentrações de Ni foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto e nas proximidades da Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 20 mg.kg^{-1} .

As menores concentrações foram encontradas na desembocadura do Canal de São Vicente e nas proximidades da Ponta de Itaipu, com valores que não ultrapassam os 3 mg.kg^{-1} .

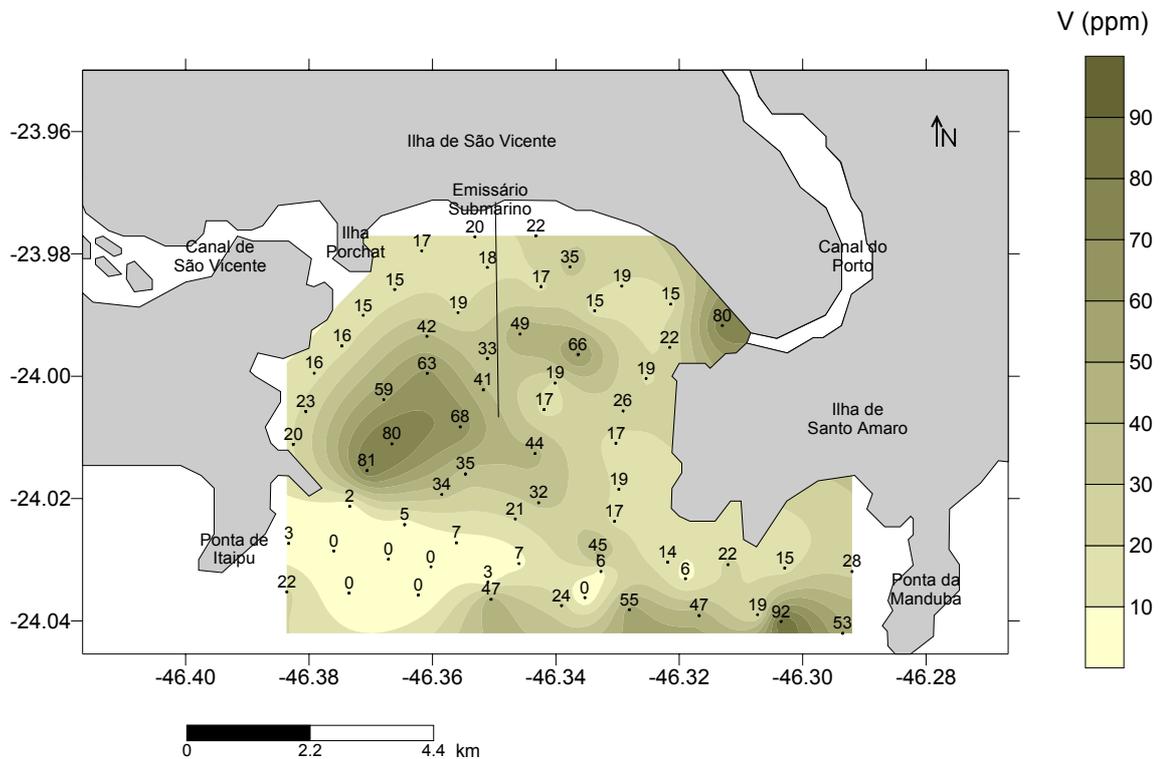


Figura 11 - Distribuição do Vanádio na Baía de Santos.

A concentração máxima do Vanádio foi de $91,9 \text{ mg.kg}^{-1}$, a concentração mínima de $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ com uma mediana de $19,4 \text{ mg.kg}^{-1}$.

As maiores concentrações de V foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto e nas proximidades da Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 80 mg.kg^{-1} .

As menores concentrações foram encontradas na desembocadura do Canal de São Vicente, nas proximidades da Ilha de Santo Amaro e nas proximidades da Ponta de Itaipú, com valores que não ultrapassam os 20 mg.kg^{-1} , sendo que nas proximidades da Ponta de Itaipú, as concentrações não alcançaram os valores de detecção do método analítico.

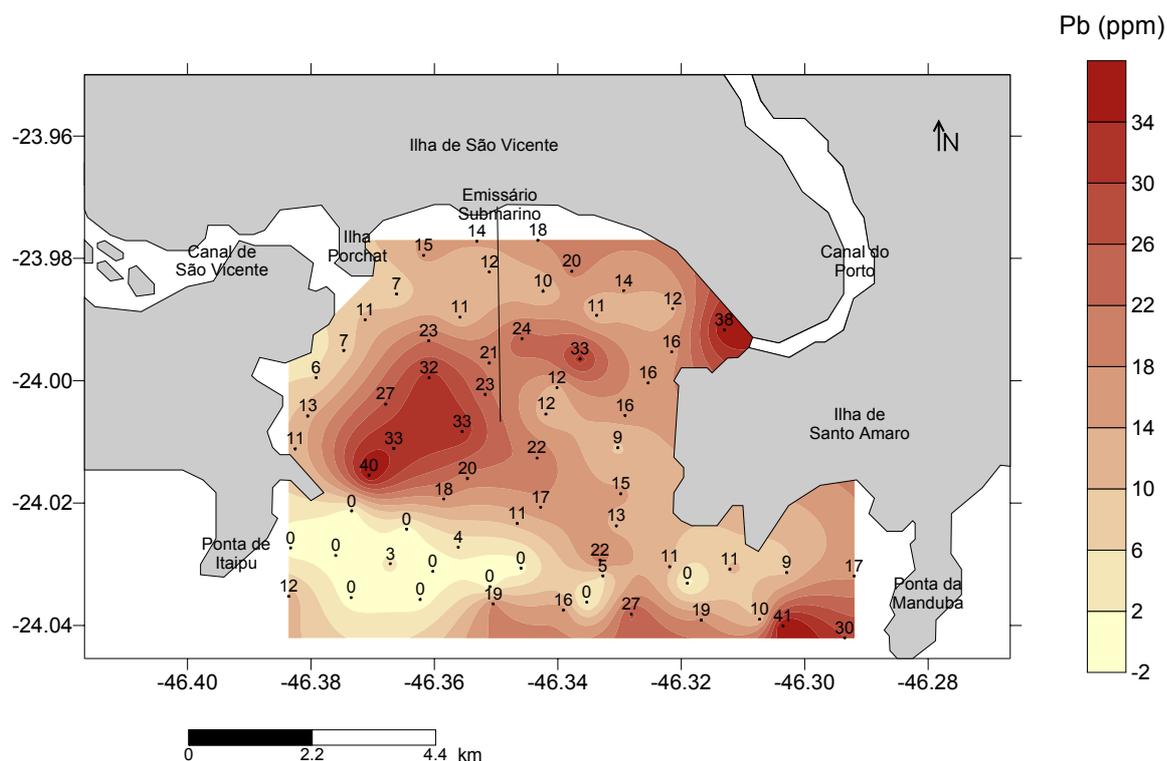


Figura 12 - Distribuição do Chumbo na Baía de Santos.

A concentração máxima do Chumbo foi de 41 mg.kg^{-1} , a concentração mínima de 3 mg.kg^{-1} com uma mediana de 15.83 mg.kg^{-1} .

As maiores concentrações de Pb foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto e nas proximidades da Ponta da Mandubá, com valores que ultrapassam os 35 mg.kg^{-1} .

As menores concentrações foram encontradas na desembocadura do Canal de São Vicente e nas proximidades da Ponta de Itaipu, com valores que não ultrapassam os 10 mg.kg^{-1} , sendo que nas proximidades da Ponta de Itaipu as concentrações não alcançaram os valores de detecção do método analítico.

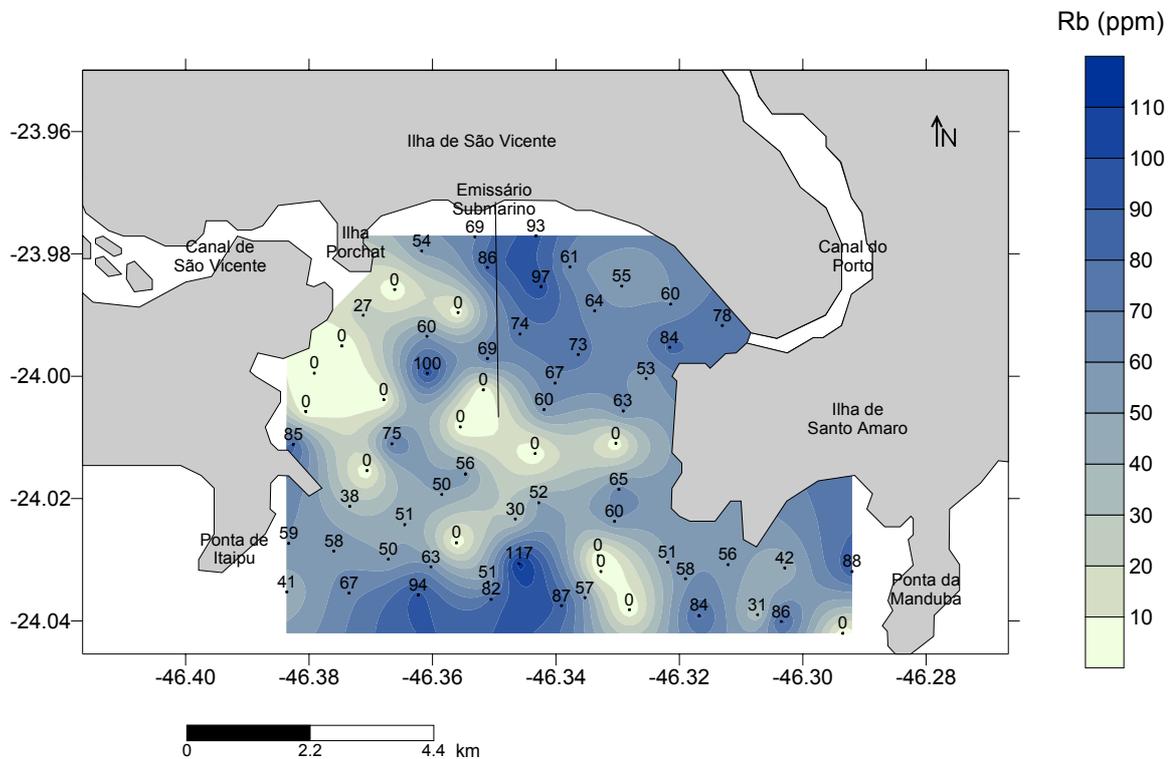


Figura 13 - Distribuição do Rubídio na Baía de Santos.

A concentração máxima do Rubídio foi de 117 mg.kg^{-1} , a concentração mínima de 27 mg.kg^{-1} com uma mediana de $59,83 \text{ mg.kg}^{-1}$.

As maiores concentrações de Rb foram encontradas nas porções Norte, sul e na desembocadura do Canal do Porto, com valores que ultrapassam os 75 mg.kg^{-1} .

As menores concentrações foram encontradas W, SSE da área e no centro da baía com concentrações que não alcançaram os valores de base do método analítico.

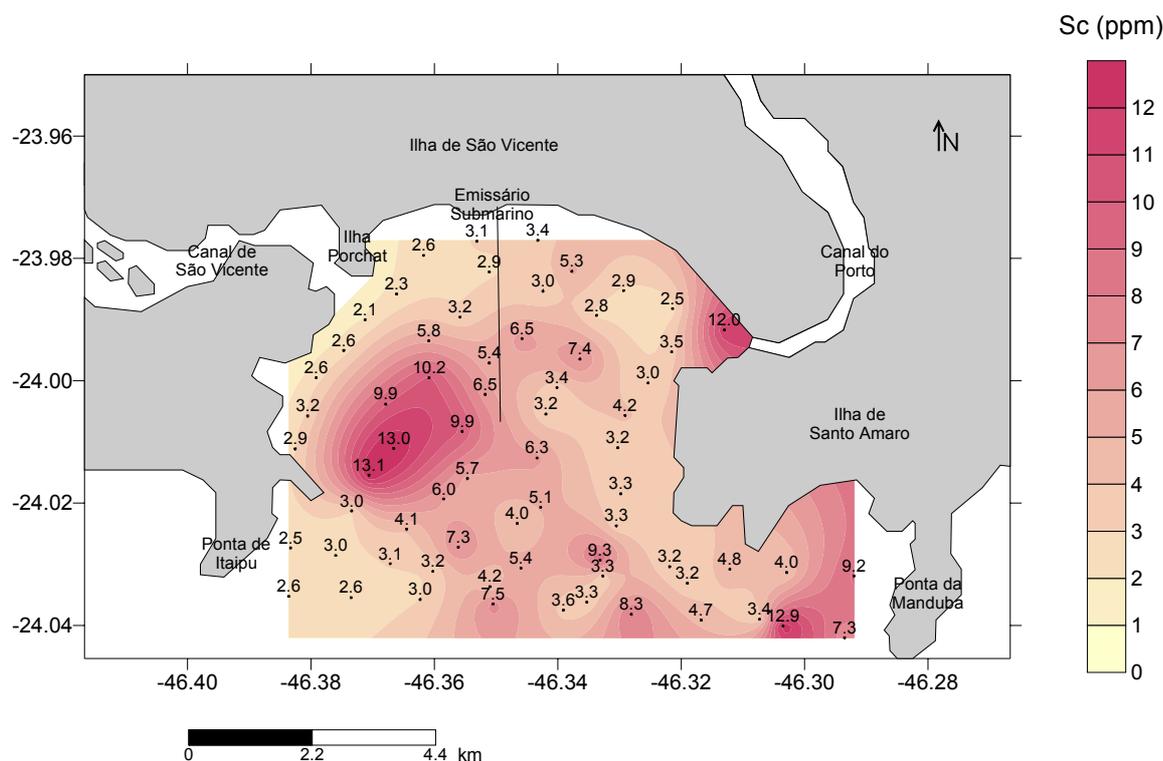


Figura 14 - Distribuição do Escândio na Baía de Santos.

A concentração máxima do Escândio foi de $13,1 \text{ mg.kg}^{-1}$, a concentração mínima de $2,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ com uma mediana de $3,8 \text{ mg.kg}^{-1}$.

As maiores concentrações de Sc foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto e nas proximidades da Ponta da Mandubá, com valores que ultrapassam os 12 mg.kg^{-1} .

As menores concentrações foram encontradas na desembocadura do Canal de São Vicente, nas proximidades da Ponta de Itaipu e SW da área com valores que não ultrapassam os 3 mg.kg^{-1} .

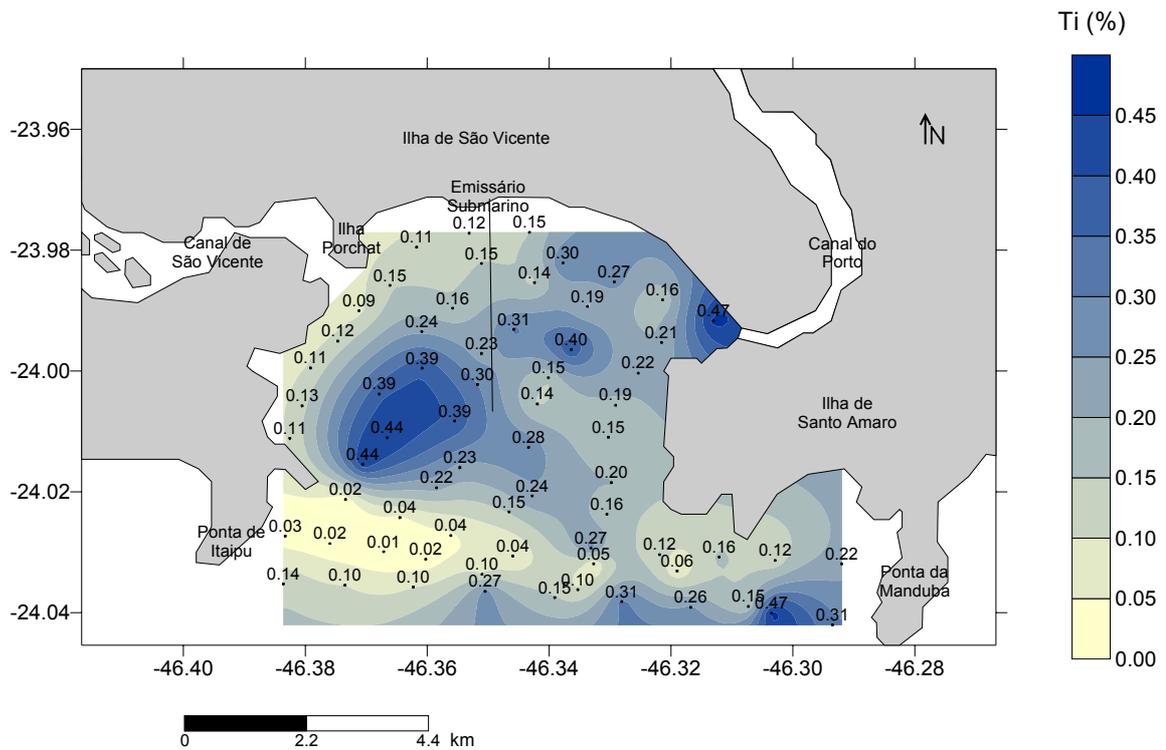


Figura 15 - Distribuição do Titânio na Baía de Santos.

A concentração máxima do Titânio foi de 0,47 %, a concentração mínima de 0,1% com uma mediana de 0,15%.

As maiores concentrações de Ti foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto e nas proximidades da Ponta da Manduba, com valores que ultrapassam os 0,4 %.

As menores concentrações foram encontradas nas proximidades da Ponta de Itaipu, com valores que não ultrapassam os 0,03 %.

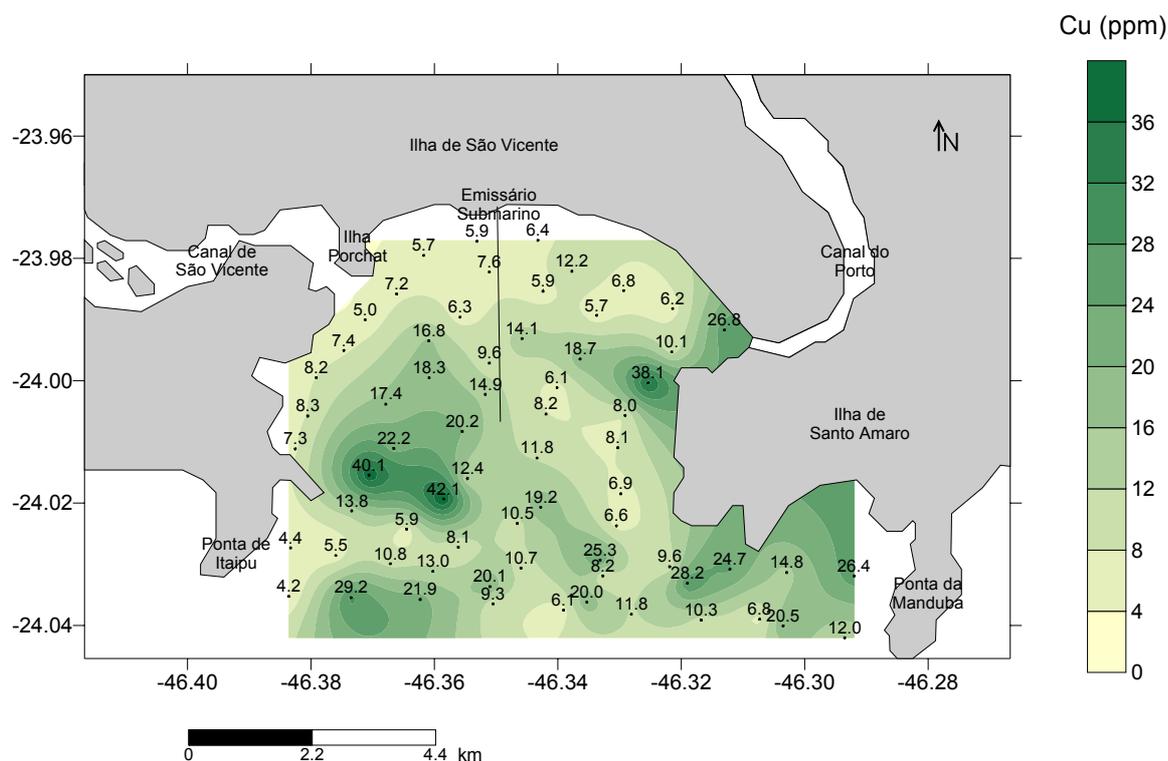


Figura 16 - Distribuição do Cobre na Baía de Santos.

A concentração máxima do Cobre foi de 42 mg.kg^{-1} , a concentração mínima de 4 mg.kg^{-1} com uma mediana de $11,6 \text{ mg.kg}^{-1}$.

As maiores concentrações de Cu foram encontradas nas porções Centro-Oeste, na desembocadura do Canal do Porto, nas proximidades da Ponta de Itaipú e da Ponta da Mandubá, com valores que ultrapassam os 28 mg.kg^{-1} .

As menores concentrações foram encontradas E da área e na desembocadura do Canal de São Vicente, com valores que não ultrapassam os 7 mg.kg^{-1} .

De maneira geral é possível afirmar que as concentrações dos elementos metálicos contidos nos sedimentos do fundo atual da baía de Santos são sensivelmente menores do que os valores encontrados nos sedimentos de alguns setores específicos do alto estuário.

II.6.2.4 Canal da Bertioga

Os trabalhos de Hurtado (2003) e Quinaglia (2006) apresentam os dados relativos às concentrações de metais contidos nos sedimentos do fundo atual do canal da Bertioga (**Tabelas 9 e 10**).

Tabela 8 - Valores mínimos e máximos, em mg.kg^{-1} , de concentração de metais contidos nos sedimentos da superfície de fundo atual do canal da Bertioga (Quinaglia, 2006).

Elemento	Valor mínimo	Valor máximo
Cu	9,16	12,9
Cr	26,1	29,5
Pb	$\leq 0,26$	
Zn	57,4	70,2
Cd	$\leq 0,02$	
As	8,74	10,9
Ni	10,1	12,3
Hg	$\leq 0,02$	

Tabela 10 Valores mínimos e máximos, em mg.kg^{-1} , de concentração de metais contidos nos sedimentos da superfície de fundo atual do canal da Bertioga (Hurtado, 2003)

Elemento	Valor mínimo	Valor máximo
Cu	2,1	8,2
Pb	3,6	19
Zn	14	80

Os dados de Quinaglia fazem referência a um conjunto de 48 (quarenta e oito) amostras, coletadas em projetos da CETESB, nos anos de 2004 e 2006. O

trabalho teve um enfoque mais analítico, com análise dos resultados obtidos a partir da metodologia básica de análise da CETESB, e de avaliações de diferentes processos de digestão e análise.

Os valores máximos e mínimos apresentados por Hurtado (2003), referentes aos metais cobre, chumbo e zinco, diferem ligeiramente dos detectados por Quinaglia (2006).

A distribuição espacial das concentrações de metais contidos nos sedimentos do fundo atual do canal da Bertioga indica que as maiores concentrações se distribuem ao longo do Largo do Candinho, área de encontro das correntes de maré de sentido de propagação contrária provenientes da junção do canal com a área portuária, e na desembocadura do canal junto ao oceano.

As **Figuras 17, 18 e 19** ilustram a distribuição do Cobre, Chumbo e Zinco no Canal da Bertioga apresentadas por Hurtado (2003).

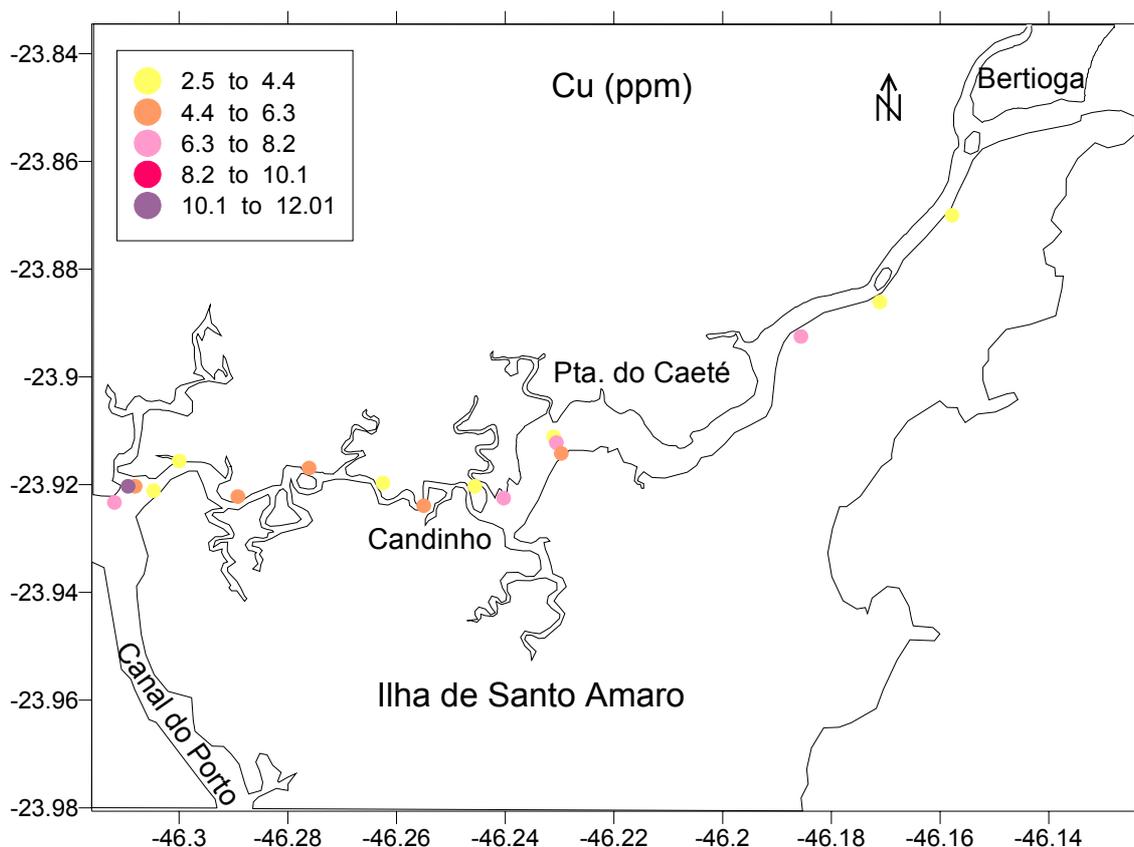


Figura 17 - Teor de Cobre, em ppm (mg.kg^{-1}), no Canal da Bertioga.

O teor de Cu varia, na área de estudo, de $2,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ a 12 mg.kg^{-1} com uma mediana $4,5 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Os teores máximos foram encontrados na desembocadura do Canal da Bertioga com o Canal do Porto. Os menores teores foram encontrados pontualmente ao longo de todo o canal, mas concentrasse nas proximidades de Bertioga (NE).

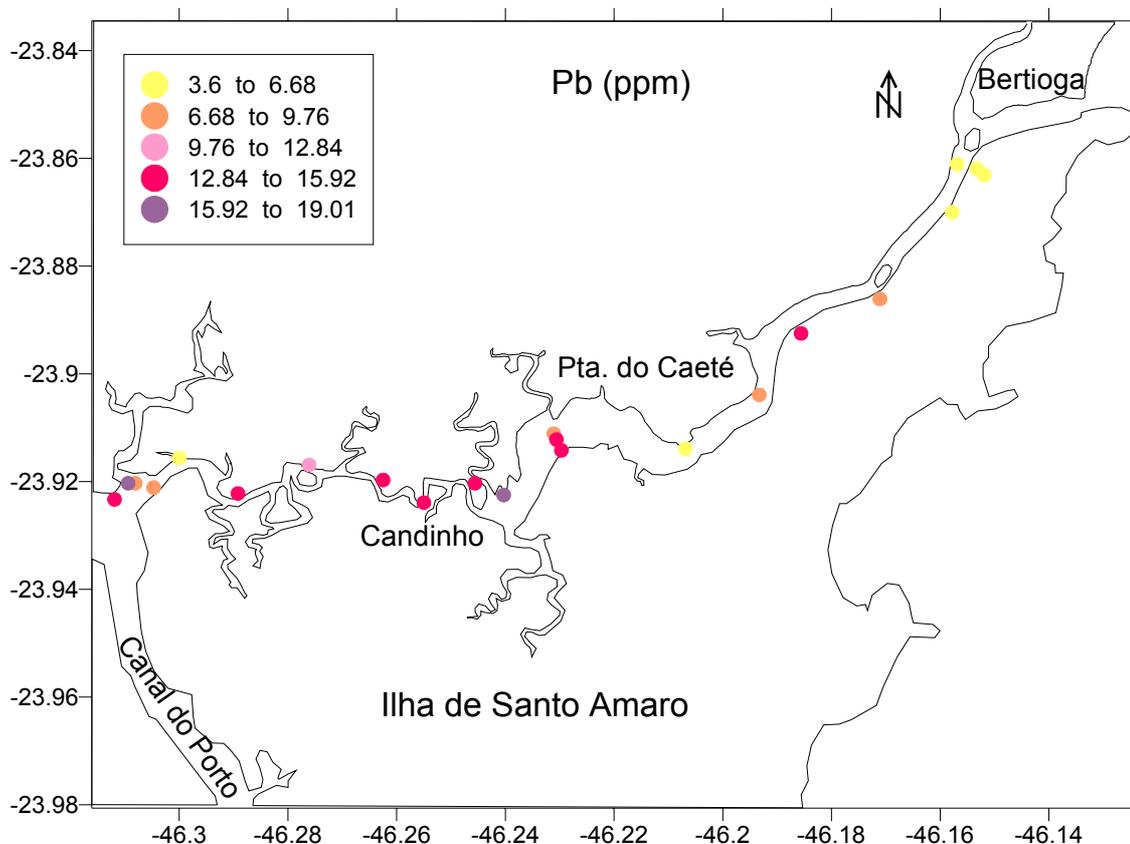


Figura 18 - Teor de Chumbo, em ppm (mg.kg^{-1}), no Canal da Bertioga.

O teor de Pb varia, na área de estudo, de $3,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ a 19 mg.kg^{-1} com uma mediana $10,75 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Os teores máximos foram encontrados na desembocadura do Canal da Bertioga com o Canal do Porto (SW) e no centro da área (Largo do Candinho). Os menores teores foram encontrados no centro leste da área (Ponta do Caeté) e na saída do canal para o mar em Bertioga (NE).

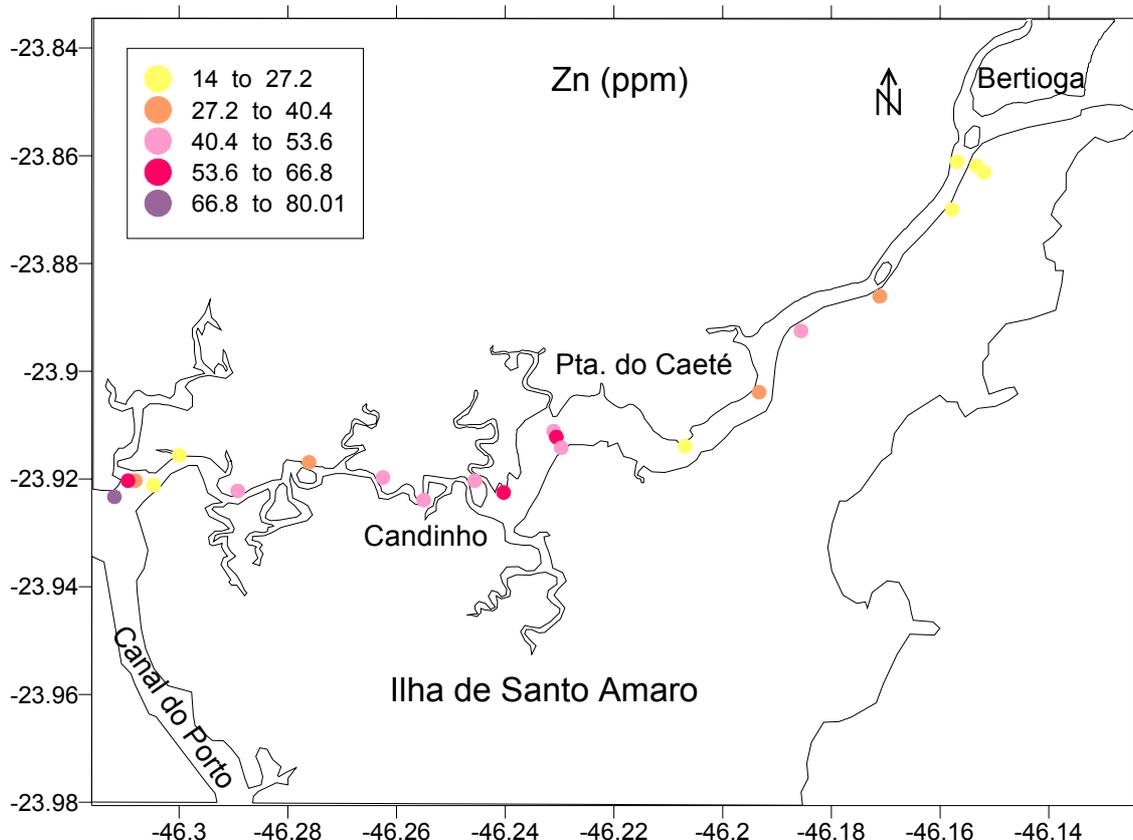


Figura 19 - Teor de Zinco, em ppm (mg.kg^{-1}), no Canal da Bertioga.

O teor de Zn varia, na área de estudo, de 14 mg.kg^{-1} a 80 mg.kg^{-1} com uma mediana $39,5 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Os teores máximos foram encontrados na confluência do Canal da Bertioga com o Canal do Porto (SW do canal), valores relativamente altos foram encontrados no trecho entre o centro do canal (Largo do Candinho) e o ponto de máximo (SW do canal).

Os menores teores foram encontrados no centro leste da área (Ponta do Caeté), na saída do canal para o mar em Bertioga (NE) e em dois pontos próximo a confluência com o Canal do Porto (SW).

II.6.3 As concentrações de metais contidos ao longo das colunas sedimentares holocênicas que preenchem os canais do estuário santista

Com o estabelecimento da distribuição espacial das concentrações de metais contidos nos sedimentos de fundo dos canais estuarinos, e do conhecimento da relação direta entre teor de concentração de metais, com o nível diferenciado da dinâmica sedimentar de áreas restritas do sistema (alto estuário, canal do porto, baía, etc.), teor de lama x areia e matéria orgânica, se estabeleceu a possibilidade de determinar os níveis basais de metais do sistema, bem como o cálculo do fator de enriquecimento em metais contidos devido a ação antrópica.

As taxas de sedimentação obtidas para os diversos compartimentos do estuário santista, baseados em medições gama (Figueira *et al.*, 2004), permitem estabelecer os limites temporais da influência antrópica nas colunas sedimentares holocênicas, que preenchem os canais lagunares.

Estes limites temporais diretamente dependentes do volume do aporte sedimentar da área continental do entorno, associado a variabilidade da dinâmica sedimentar de cada segmento do sistema estuarino, é melhor equacionada nas áreas do alto estuário onde as taxas de sedimentação apresentam valores mais elevados, e onde se estabelece o predomínio da deposição de sedimentos antropicamente enriquecidos em metais contidos.

A partir dos trabalhos de Figueira *et al.* (2004) e Martins *et al.* (2005), onde se associaram as taxas de sedimentação com a variabilidade vertical das concentrações de metais, presentes ao longo das colunas sedimentares amostradas no alto estuário, canal do porto, e canal da Bertiooga é possível avaliar a ordem de grandeza dos níveis basais e dos fatores de enriquecimento dos metais, ao longo dos últimos 100 anos.

II.6.3.1 Os testemunhos do alto estuário (CS e SR)

No alto estuário santista, duas colunas sedimentares foram obtidas possibilitando a obtenção simultânea dos valores das taxas de sedimentação, e da variabilidade vertical de suas propriedades texturais e dos teores de metais contidos (**Figura 20**).

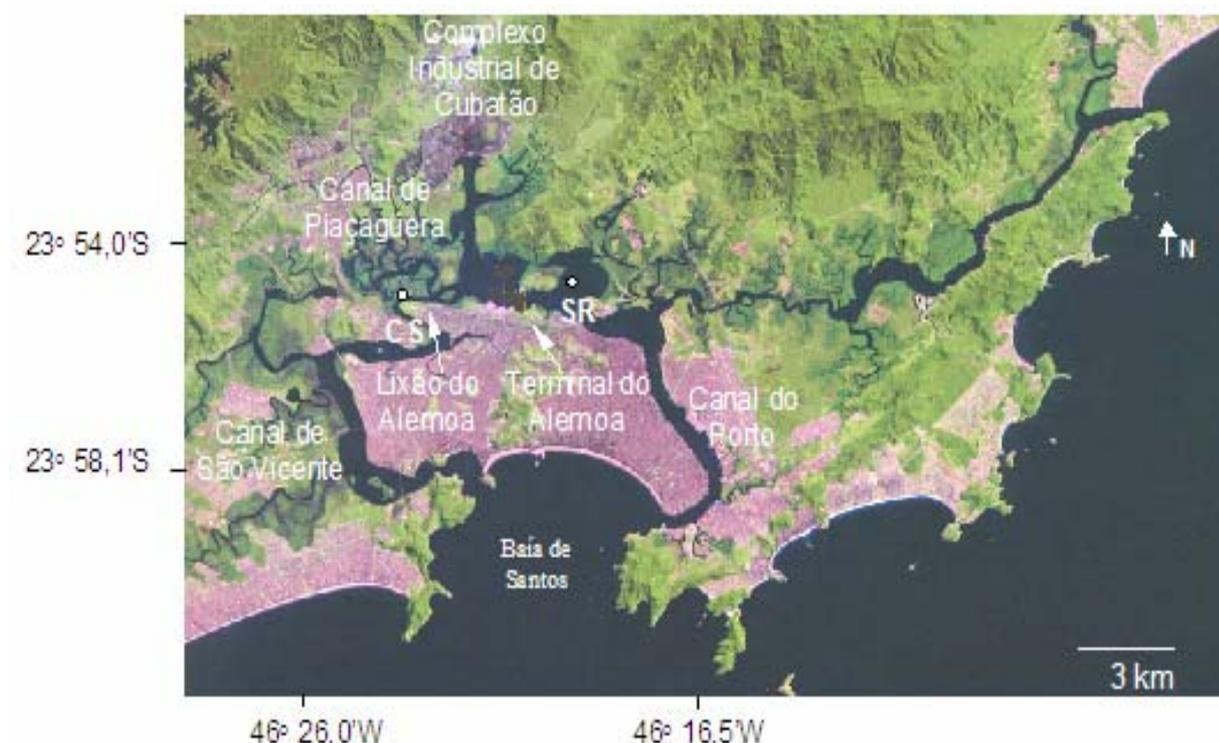


Figura 20 - Localização das amostras obtidas na região do alto estuário (Fukumoto, 2007).

As análises de metais nas amostras de sedimento foram realizadas no laboratório de análises ambientais Ceimic (em São Paulo, Brasil, e Narragansett, Rhode Island, EUA). Na análise utilizou-se a técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado - ICP-OES (método EPA 6010B). A digestão foi conduzida de acordo com o método EPA 3050B, o qual inclui os ácidos nítrico e clorídrico para a abertura, bem como peróxido de hidrogênio para eliminação da matéria orgânica presente no sedimento. Para

análise de mercúrio, recorreu-se à técnica de absorção atômica com geração de vapor frio – CVAAS (método EPA 7471A).

A coluna sedimentar Casqueiro (CS) correspondeu a uma seqüência de 2 metros de coluna, analisadas quanto aos elementos metálicos em subamostras coletadas a cada 2 cm de profundidade, até cerca de 40 cm de profundidade e, a partir deste nível a intervalos mais espaçados. O testemunho SR, com 153 cm de coluna amostrada, foi submetido aos mesmos procedimentos de coleta e análise, até aproximadamente 20 cm do topo e abaixo desta profundidade em outros níveis intercalados.

O Sc, considerado um elemento natural, não contaminante, foi utilizado para servir de fator de normalização dos teores dos elementos metálicos analisados (Cr, Cu, Fe, Pb, Hg e Zn), ao longo de cada coluna e possibilitar a comparação entre as seqüências sedimentares obtidas nos diferentes compartimentos amostrados. Os teores de metais ao longo do perfil sedimentar da região do Casqueiro (CS) estão apresentados na **Tabela 11**, estes valores apresentam-se não normalizados.

Tabela 9 - Níveis de metais no testemunho CS.

Profundidade (cm)	Al (%)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (%)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Hg (mg.kg ⁻¹)	Sc (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
0	1,3	32,0	24,0	3,5	41,0	1,3	3,5	128,0
3	1,5	37,0	29,0	3,7	42,0	1,5	4,1	121,0
5	1,5	43,0	26,0	3,5	59,0	1,5	4,1	117,0
7	1,8	42,0	26,0	3,6	42,0	1,9	4,7	110,0
9	1,9	43,0	48,0	3,8	41,0	2,8	5,0	93,0
11	2,0	45,0	20,0	4,0	34,0	2,5	5,3	83,0
13	2,5	46,0	18,0	3,6	38,0	2,3	5,7	80,0
15	2,0	43,0	25,0	4,1	30,0	2,6	4,7	95,0
17	2,4	46,0	22,0	3,9	40,0	4,7	4,6	85,0
19	1,8	40,0	20,0	3,5	42,0	5,0	4,8	76,0
21	2,0	38,0	22,0	3,6	42,0	4,2	4,8	77,0
23	2,3	38,0	19,0	3,3	37,0	3,8	5,0	75,0
25	2,0	33,0	16,0	3,2	41,0	3,8	4,6	70,0
27	1,3	23,0	10,0	2,3	25,0	1,9	3,1	51,0
29	1,0	23,0	11,0	2,0	23,0	1,2	2,5	44,0
31	2,7	28,1	8,7	4,0	18,4	1,2	4,3	49,3
33	3,3	30,2	8,3	3,8	16,9	0,6	5,0	55,9
35	2,7	29,7	7,9	3,5	16,8	0,6	4,7	46,7
37	2,9	32,6	6,7	3,7	13,5		5,1	46,3
39	3,0	32,8	6,2	3,6	12,2		5,1	42,6
41	2,8	37,0	6,6	2,7	22,0	0,37	5,4	52,0
43	3,1	33,5	7,0	3,9	12,4		5,2	42,9
49	2,3	36,0	6,8	2,6	21,0	0,58	5,2	56,0
56	2,5	27,9	5,3	3,3	10,8		4,4	37,6
61	2,5	25,9	4,7	3,0	9,7		4,1	33,8
81	2,0	21,9	4,3	2,5	8,3		3,5	28,6
88	2,2	24,9	5,1	2,9	9,3		3,8	31,7
151	1,8	22,6	4,7	2,4	7,5		3,5	28,0
199	1,4	17,2	2,4	2,1	6,7		2,7	22,0

Considerando-se os dados normalizados pelo Sc (**Tabela 12 – Figura 21**), verifica-se um incremento dos teores entre as profundidades de 29 cm e o topo, com uma progressão deste incremento a partir da profundidade de 09 cm.

Tabela 12 - Níveis de metais normalizados pelo Sc no testemunho CS.

Profundidade (cm)	Al/Sc	Cr/Sc	Cu/Sc	Fe/Sc	Pb/Sc	Hg/Sc	Zn/Sc
0	0,4	9,1	6,9	1,0	11,7	0,4	36,6
3	0,4	9,0	7,1	0,9	10,2	0,4	29,5
5	0,4	10,5	6,3	0,9	14,4	0,4	28,5
7	0,4	8,9	5,5	0,8	8,9	0,4	23,4
9	0,4	8,6	9,6	0,8	8,2	0,6	18,6
11	0,4	8,5	3,8	0,7	6,4	0,5	15,7
13	0,4	8,1	3,2	0,6	6,7	0,4	14,0
15	0,4	9,1	5,3	0,9	6,4	0,6	20,2
17	0,5	10,0	4,8	0,8	8,7	1,0	18,5
19	0,4	8,3	4,2	0,7	8,8	1,0	15,8
21	0,4	7,9	4,6	0,8	8,8	0,9	16,0
23	0,5	7,6	3,8	0,7	7,4	0,8	15,0
25	0,4	7,2	3,5	0,7	8,9	0,8	15,2
27	0,4	7,4	3,2	0,7	8,1	0,6	16,5
29	0,4	9,2	4,4	0,8	9,2	0,5	17,6
31	0,6	6,5	2,0	0,9	4,3	0,3	11,5
33	0,7	6,0	1,7	0,8	3,4	0,1	11,2
35	0,6	6,3	1,7	0,7	3,6	0,1	9,9
37	0,6	6,4	1,3	0,7	2,6		9,1
39	0,6	6,4	1,2	0,7	2,4		8,4
41	0,5	6,8	1,2	0,5	4,0	0,1	9,5
43	0,6	6,4	1,3	0,7	2,4		8,3
49	0,4	6,9	1,3	0,5	4,0	0,1	10,8
56	0,6	6,3	1,2	0,7	2,5		8,5
61	0,6	6,3	1,1	0,7	2,4		8,2
81	0,6	6,3	1,2	0,7	2,4		8,2
88	0,6	6,6	1,3	0,8	2,4		8,3
151	0,5	6,5	1,3	0,7	2,1		8,0
199	0,5	6,4	0,9	0,8	2,5		8,1

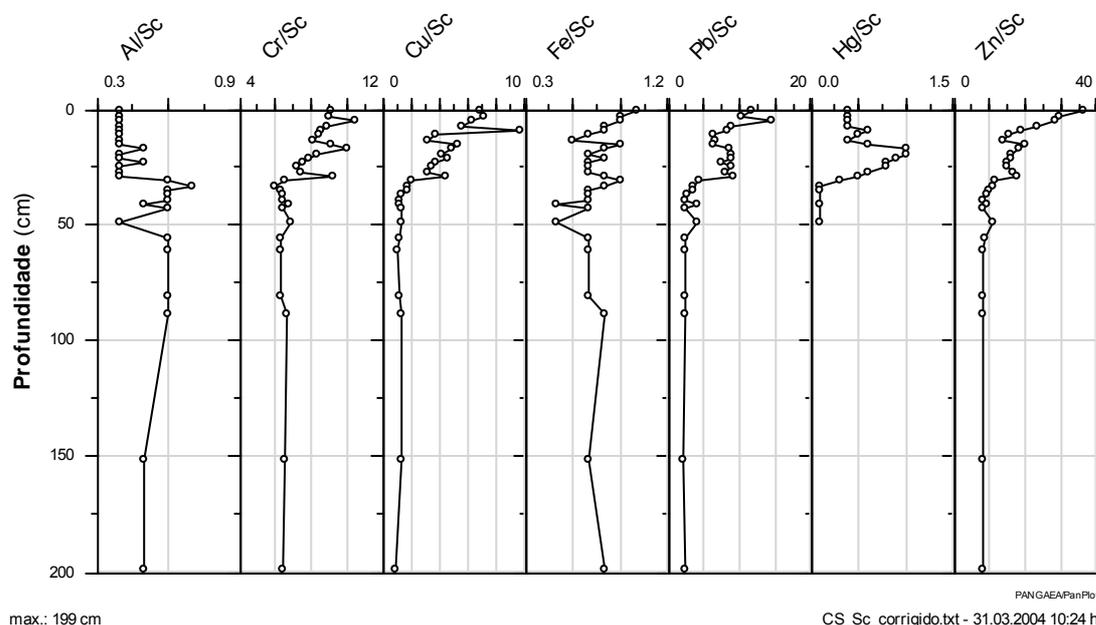


Figura 21 - Níveis de metais normalizados pelo Sc em função da profundidade no testemunho CS.

Para a quantificação e comparação do grau de contaminação em ambiente fluvial e estuarino tem sido utilizado o fator de enriquecimento (SZEFER *et al.*, 1998). Segundo KERSTEN *et al.* (1989), a utilização de fatores de enriquecimento é uma forma de relacionar os teores de metais nos sedimentos com os teores de fundo. O elemento normalizador é, em geral, um elemento químico pouco móvel. Os valores de referência podem ser as composições médias crustais ou os teores no nível de base.

O fator de enriquecimento (FE) pode ser calculado de acordo com a Equação 1 (SZEFER *et al.*, 1998).

$$FE = \frac{\left(\frac{C_i}{C_n} \right)_{\text{amostra}}}{\left(\frac{C_i}{C_n} \right)_{\text{referência}}} \quad (1),$$

onde C_i : concentração de um dado metal; e

C_n : concentração de um elemento normalizador.

Quando o fator de enriquecimento é igual a 1, a principal fonte do metal é considerada como sendo a crosta terrestre, quando $FE > 1$, existem fontes adicionais do metal estudado para a área, além da entrada natural, e quando $FE < 1$, a fonte local pode ter sido diluída por outro tipo de material, como carbonatos, por exemplo.

O fator de enriquecimento para a coluna CS está apresentado na Tabela 14, observa-se um incremento significativo do fator de enriquecimento dos metais Cu, Pb, Hg e Zn partir de 50 cm, considerando-se as idades obtidas para as colunas a partir da aplicação das taxas de sedimentação, observa-se que o incremento significativo destes elementos se dá a partir década de 1970, com um intervalo de mais ou menos 3 anos, no qual temos o auge do complexo industrial de Cubatão e início da construção da Rodovia dos Imigrantes. A ocupação populacional do Rio Casqueiro e a degradação dos manguezais, assim como a implantação do lixão do Alemoa, também contribuiu para o incremento de metais na área.

Tabela 14 – Fatores de Enriquecimento para os metais no testemunho CS.

Profundidade (cm)	Fator de enriquecimento						
	Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Hg	Zn
0	0,8	1,4	7,7	1,3	4,7	4,0	4,5
3	0,8	1,4	7,9	1,1	4,1	4,0	3,6
5	0,8	1,6	7,0	1,1	5,8	4,0	3,5
7	0,8	1,4	6,1	1,0	3,6	4,0	2,9
9	0,8	1,3	10,7	1,0	3,3	6,0	2,3
11	0,8	1,3	4,2	0,9	2,6	5,0	1,9
13	0,8	1,3	3,6	0,8	2,7	4,0	1,7
15	0,8	1,4	5,9	1,1	2,6	6,0	2,5
17	1,0	1,6	5,3	1,0	3,5	10,0	2,3
19	0,8	1,3	4,7	0,9	3,5	10,0	2,0
21	0,8	1,2	5,1	1,0	3,5	9,0	2,0
23	1,0	1,2	4,2	0,9	3,0	8,0	1,9
25	0,8	1,1	3,9	0,9	3,6	8,0	1,9
27	0,8	1,2	3,6	0,9	3,2	6,0	2,0
29	0,8	1,4	4,9	1,0	3,7	5,0	2,2
31	1,2	1,0	2,2	1,1	1,7	3,0	1,4
33	1,4	0,9	1,9	1,0	1,4	1,0	1,4
35	1,2	1,0	1,9	0,9	1,4	1,0	1,2
37	1,2	1,0	1,4	0,9	1,0	0,0	1,1
39	1,2	1,0	1,3	0,9	1,0	0,0	1,0
41	1,0	1,1	1,3	0,6	1,6	1,0	1,2
43	1,2	1,0	1,4	0,9	1,0	0,0	1,0
49	0,8	1,1	1,4	0,6	1,6	1,0	1,3
56	1,2	1,0	1,3	0,9	1,0	0,0	1,0
61	1,2	1,0	1,2	0,9	1,0	0,0	1,0
81	1,2	1,0	1,3	0,9	1,0	0,0	1,0
88	1,2	1,0	1,4	1,0	1,0	0,0	1,0
151	1,0	1,0	1,4	0,9	0,8	0,0	1,0
199	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0

Para o testemunho Santa Rita (SR), a tendência de incremento dos teores dos elementos metálicos (Cu, Pb e Zn), em direção ao topo do testemunho, também é observada, muito embora com as maiores concentrações em níveis menores que os observados para a coluna do Casqueiro (**Tabela 14**).

Tabela 10 - Níveis de metais no testemunho SR.

Profundidade (cm)	Al (%)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (%)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Hg (mg.kg ⁻¹)	Sc (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
0	2,1	33,0	22,0	3,4	38,0	1,1	4,1	108,0
3	2,0	36,0	24,0	3,5	38,0	1,1	4,2	103,0
5	2,0	32,0	23,0	3,0	40,0	1,1	4,3	104,0
7	1,6	14,0	22,0	2,9	35,0	0,9	4,1	101,0
9	1,8	32,0	20,0	3,0	39,0	0,8	4,3	96,0
13	1,7	33,0	17,0	3,0	42,0	0,9	4,2	97,0
15	2,1	43,0	19,0	3,2	24,9	0,8	4,9	104,0
17	1,9	42,0	18,0	3,3	26,0	0,7	4,8	96,0
19	2,6	49,0	21,0	3,4	32,0	1,5	5,7	100,0
21	2,7	51,0	22,0	3,5	31,0	1,3	6,1	102,0
31	2,4	48,0	20,0	3,2	29,0	1,2	5,3	104,0
42	2,7	61,0	21,0	3,1	37,0	2,3	5,5	96,0
49	2,8	62,0	19,0	2,9	36,0	2,8	5,9	92,0
51	2,8	58,0	16,0	3,0	33,0	3,4	5,8	83,0
73	2,6	31,0	7,6	4,0	17,0		5,2	61,0
101	5,1	23,0		1,7	11,0		3,9	89,0
153	1,4	22,0	3,1	2,8	12,0		3,6	45,0

Os teores normalizados pelo Sc correspondem ao mesmo padrão descrito para o testemunho do Casqueiro (**Tabelas 16 – Figura 26**).

Tabela 115 - Níveis de metais normalizados pelo Sc no testemunho SR.

Profundidade (cm)	Al/Sc	Cr/Sc	Cu/Sc	Fe/Sc	Pb/Sc	Hg/Sc	Zn/Sc
0	0,5	8,0	5,4	0,8	9,3	0,3	26,3
3	0,5	8,6	5,7	0,8	9,0	0,3	24,5
5	0,5	7,4	5,3	0,7	9,3	0,3	24,2
7	0,4	3,4	5,4	0,7	8,5	0,2	24,6
9	0,4	7,4	4,7	0,7	9,1	0,2	22,3
11	0,4	7,3	4,8	0,6	8,8	0,3	22,9
13	0,4	7,9	4,0	0,7	10,0	0,2	23,1
15	0,4	8,8	3,9	0,7	5,1	0,2	21,4
17	0,4	8,7	3,7	0,7	5,4	0,1	19,9
19	0,4	8,6	3,7	0,6	5,6	0,3	17,5
21	0,5	8,4	3,6	0,6	5,1	0,2	16,9
31	0,5	9,1	3,8	0,6	5,5	0,2	19,8
42	0,5	11,1	3,8	0,6	6,7	0,4	17,5
49	0,5	10,6	3,2	0,5	6,2	0,5	15,7
51	0,5	10,1	2,8	0,5	5,7	0,6	14,4
73	0,5	6,0	1,5	0,8	3,3		11,7
101	1,3	5,9	0,0	0,4	2,8		22,8
153	0,4	6,1	0,9	0,8	3,3		12,5

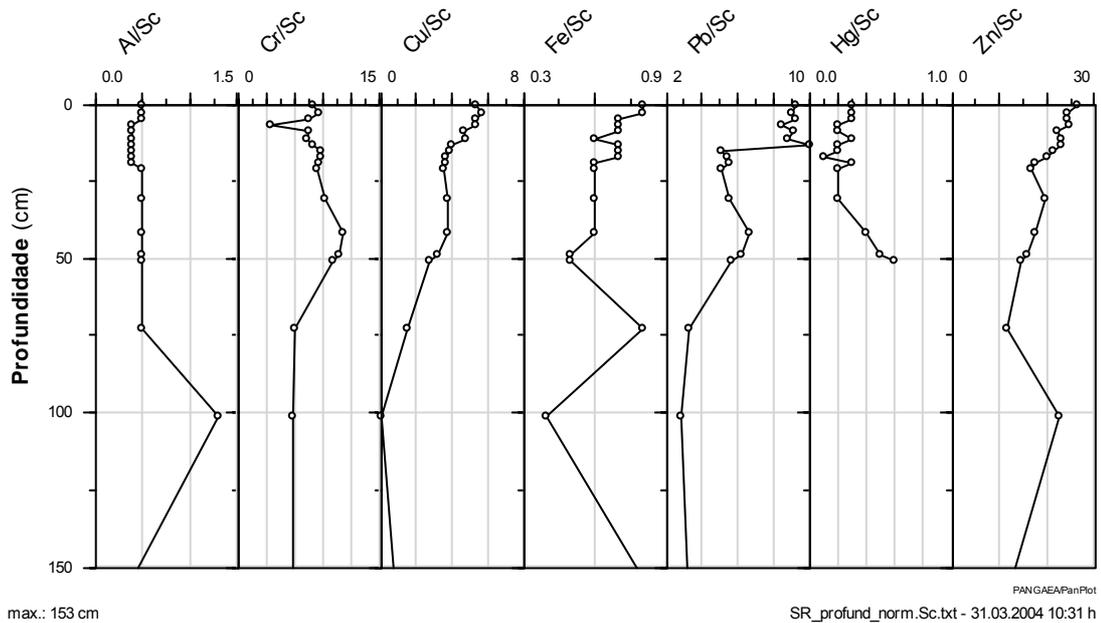


Figura 212 - Níveis de metais normalizados pelo Sc em função da profundidade no testemunho SR.

O fator de enriquecimento para a coluna SR está apresentado na Tabela 17, observa-se um incremento do fator de enriquecimento dos metais Cu, Pb e Zn partir de 50 cm, sendo mais significativo para o Cu. Considerando-se as idades obtidas para as colunas a partir da aplicação das taxas de sedimentação, observa-se a mesma tendência da coluna CS, ou seja, o incremento significativo destes elementos se dá também a partir década de 1970, porém, com um potencial menor daquele obtido para a coluna CS.

Tabela 16 – Fatores de Enriquecimento para os metais no testemunho CS.

Profundidade (cm)	Fator de Enriquecimento						
	Al	Cr	Cu	Fe	Pb	Hg	Zn
0	1,3	1,3	6,0	1,0	2,8	0,5	2,1
3	1,3	1,4	6,3	1,0	2,7	0,5	2,0
5	1,3	1,2	5,9	0,9	2,8	0,5	1,9
7	1,0	0,6	6,0	0,9	2,6	0,3	2,0
9	1,0	1,2	5,2	0,9	2,8	0,3	1,8
11	1,0	1,2	5,3	0,8	2,7	0,5	1,8
13	1,0	1,3	4,4	0,9	3,0	0,3	1,8
15	1,0	1,4	4,3	0,9	1,5	0,3	1,7
17	1,0	1,4	4,1	0,9	1,6	0,2	1,6
19	1,0	1,4	4,1	0,8	1,7	0,5	1,4
21	1,3	1,4	4,0	0,8	1,5	0,3	1,4
31	1,3	1,5	4,2	0,8	1,7	0,3	1,6
42	1,3	1,8	4,2	0,8	2,0	0,7	1,4
49	1,3	1,7	3,6	0,6	1,9	0,8	1,3
51	1,3	1,7	3,1	0,6	1,7	1,0	1,2
73	1,3	1,0	1,7	1,0	1,0	0,0	0,9
101	3,3	1,0	0,0	0,5	0,8	0,0	1,8
153	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0

II.6.3.2 Os testemunhos do canal da Bertioga (03, 09 e 21)

Os testemunhos do canal da Bertioga são colunas rasas de no máximo 40 cm, amostradas e analisadas a intervalos regulares de 2 cm (**Figura 29**).

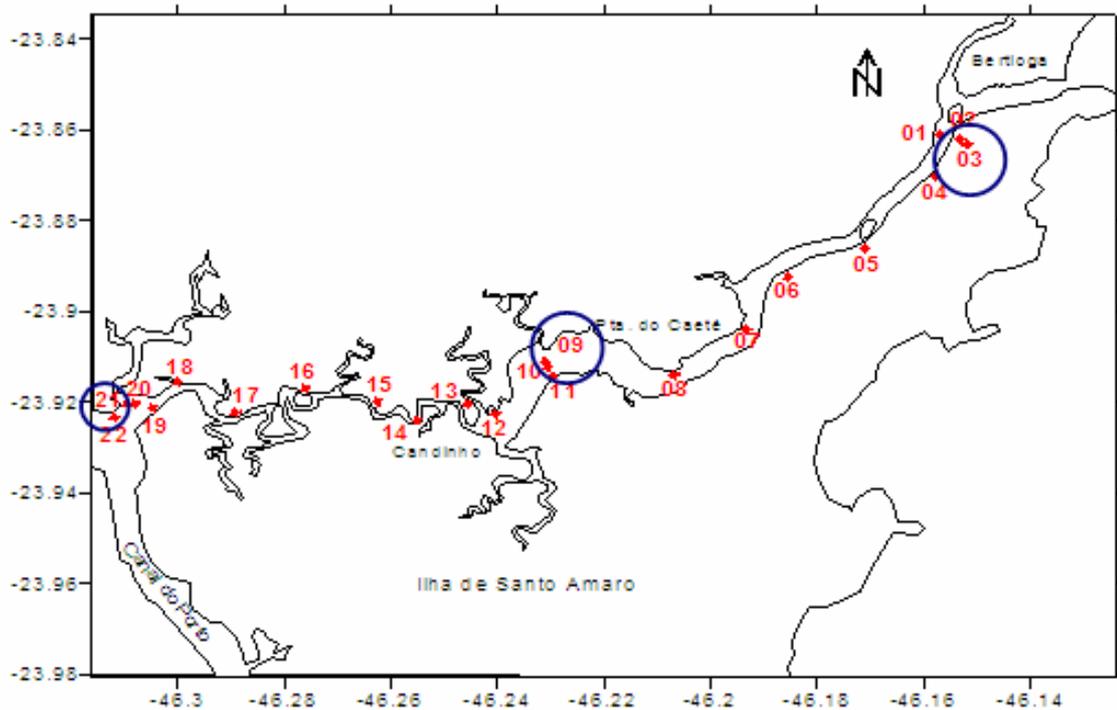


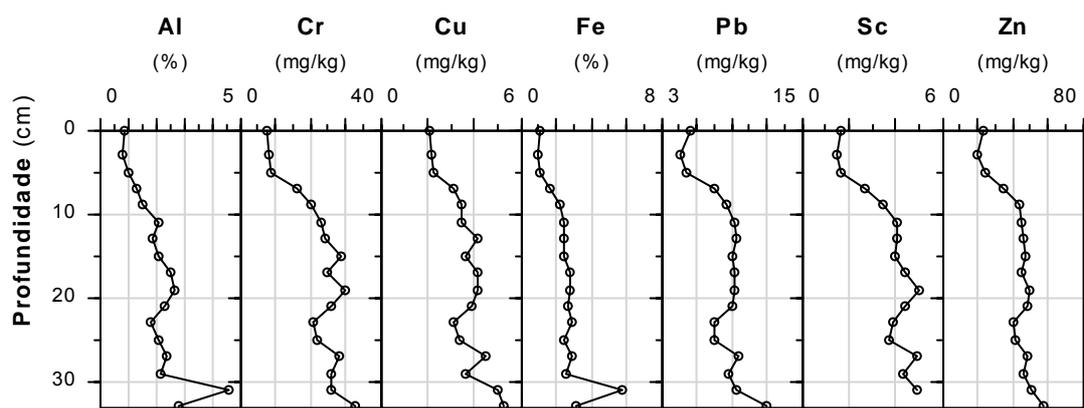
Figura 223 - Área de estudo e coleta das amostras no Canal de Bertioga, os círculos em azul representam os pontos de coleta dos testemunhos.

Os laboratórios de análise e as metodologias correspondem as mesmas utilizadas nas análises dos testemunhos do alto estuário santista.

O testemunho 03, próximo à confluência do rio Itapanhaú com o canal da Bertioga, apresenta o maior teor de Cu ($5,3 \text{ mg.kg}^{-1}$) na base da coluna (33 cm), feito igualmente observado para o Pb (12 mg.kg^{-1}) e Zn (mg.kg^{-1}), e uma tendência de decréscimo de teores em direção ao topo da seqüência analisada (**Tabela 16 e Figura 24**).

Tabela 126 - Níveis de metais no testemunho Bertioga 3.

Profundidade (cm)	Al (%)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (%)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Hg (mg.kg ⁻¹)	Sc (mg.kg ⁻¹)
0	0,9	7,8	2,1	1,1	5,4	1,7	23,0
3	0,8	8,1	2,2	1,0	4,7	1,5	20,0
5	1,0	8,9	2,3	1,1	5,1	1,7	24,0
7	1,3	16,0	3,1	1,7	7,5	2,7	35,0
9	1,5	20,0	3,5	2,2	8,6	3,5	44,0
11	2,1	23,0	3,5	2,5	9,3	4,1	45,0
13	1,9	24,0	4,2	2,4	9,4	4,1	46,0
15	2,1	29,0	3,6	2,4	9,0	4,0	47,0
17	2,5	25,0	4,2	2,8	9,3	4,4	45,0
19	2,7	30,0	4,2	2,8	9,2	5,0	50,0
21	2,3	26,0	3,9	2,7	9,0	4,4	48,0
23	1,8	21,0	3,1	2,9	7,5	3,9	41,0
25	2,1	22,0	3,4	2,4	7,6	3,7	42,0
27	2,4	28,0	4,5	2,9	9,6	4,9	49,0
29	2,2	26,0	3,6	2,6	8,8	4,3	46,0
31	4,6	26,0	5,0	5,8	9,5	4,9	51,0
33	2,8	33,0	5,3	3,1	12,0		58,0



max.: 33 cm

Bertioga_metais totais_03.txt - 02.02.2004 15:11 h

Figura 24 - Níveis de metais em função da profundidade no testemunho 3 do Canal da Bertioga.

Porém, quando observadas as tendências para valores normalizados com Sc, verifica-se uma inversão desta tendência, com valores mais elevados junto às camadas de topo, mas com fatores de enriquecimento entre 1,2 (Cu e Zn) e 1,3 (Pb), denotando uma certa homogeneidade ao longo do segmento analisado (Tabela 17 e Tabela 20 – Figura 26).

Tabela 137 - Níveis de metais normalizados pelo Sc no testemunho Bertioaga 3.

Profundidade (cm)	Cr/Sc	Cu/Sc	Fe/Sc	Pb/Sc	Zn/Sc
0	4,6	1,2	0,6	3,2	13,5
3	5,4	1,5	0,7	3,1	13,3
5	5,2	1,4	0,7	3,0	14,1
7	5,9	1,1	0,6	2,8	13,0
9	5,7	1,0	0,6	2,5	12,6
11	5,6	0,9	0,6	2,3	11,0
13	5,9	1,0	0,6	2,3	11,2
15	7,3	0,9	0,6	2,3	11,8
17	5,7	1,0	0,6	2,1	10,2
19	6,0	0,8	0,6	1,8	10,0
21	5,9	0,9	0,6	2,0	10,9
23	5,4	0,8	0,7	1,9	10,5
25	5,9	0,9	0,6	2,1	11,4
27	5,7	0,9	0,6	2,0	10,0
29	6,0	0,8	0,6	2,0	10,7
31	5,3	1,0	1,2	1,9	10,4
33	7,7	1,2	0,7	2,8	13,5

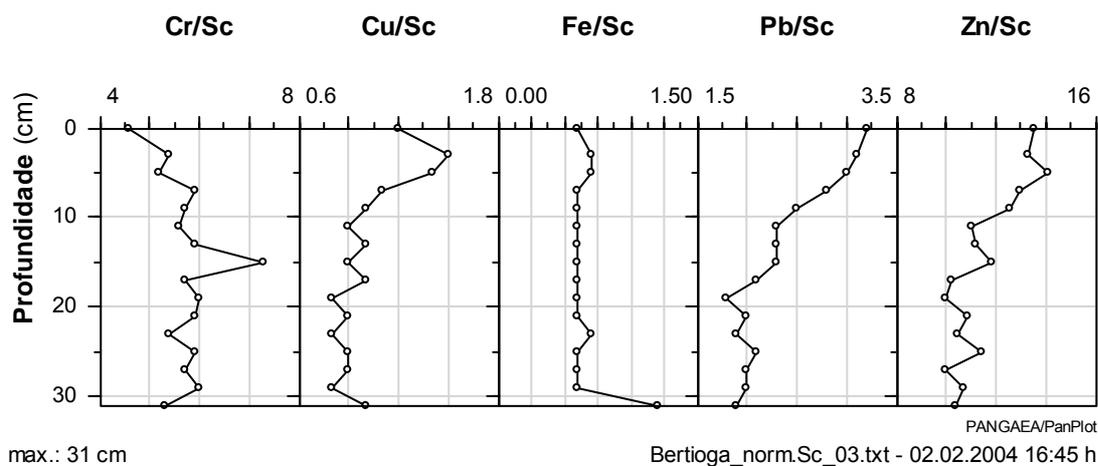
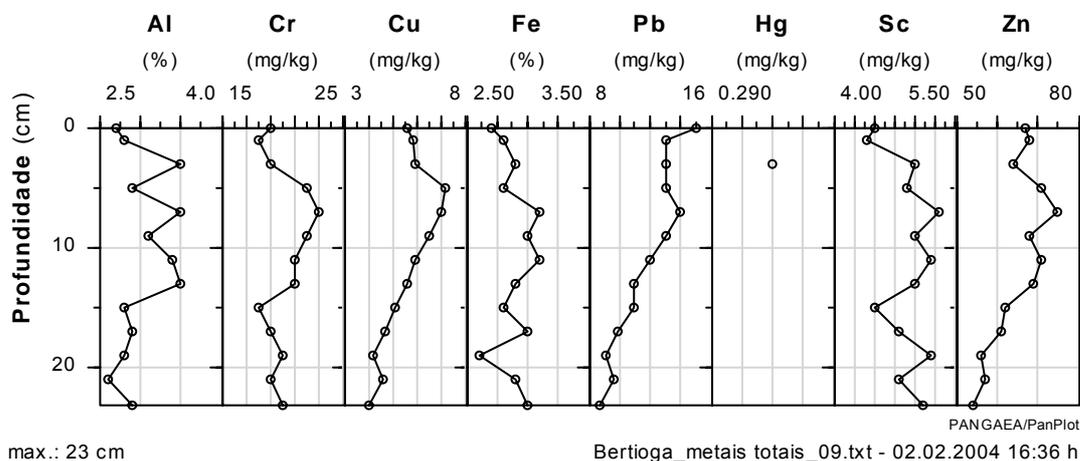


Figura 235 - Níveis de metais normalizados pelo Sc em função da profundidade no testemunho 3 do canal de Bertioga.

O testemunho 09, localizado junto ao Largo do Candinho, confluência das correntes de maré enchente (tombo) no canal, apresenta os maiores valores de elementos metálicos a 5 cm ($7,1 \text{ mg.kg}^{-1}$) para o Cu; 14 mg.kg^{-1} de Pb a 7 cm e 75 mg.kg^{-1} de Zn a 7 cm de profundidade (**Tabela 18**).

Tabela 18 - Níveis de metais no testemunho Bertioga 9.

Profundidade (cm)	Al (%)	Cr (mg.kg ⁻¹)	Cu (mg.kg ⁻¹)	Fe (%)	Pb (mg.kg ⁻¹)	Hg (mg.kg ⁻¹)	Sc (mg.kg ⁻¹)	Zn (mg.kg ⁻¹)
0	2,7	19,0	5,6	2,7	15,0		4,5	67,0
1	2,8	18,0	5,8	2,8	13,0		4,4	68,0
3	3,5	19,0	5,9	2,9	13,0	0,3	5,0	64,0
5	2,9	22,0	7,1	2,8	13,0		4,9	71,0
7	3,5	23,0	7,0	3,1	14,0		5,3	75,0
9	3,1	22,0	6,5	3,0	13,0		5,0	68,0
11	3,4	21,0	5,9	3,1	12,0		5,2	71,0
13	3,5	21,0	5,6	2,9	11,0		5,0	69,0
15	2,8	18,0	5,1	2,8	11,0		4,5	62,0
17	2,9	19,0	4,7	3,0	9,9		4,8	61,0
19	2,8	20,0	4,2	2,6	9,1		5,2	56,0
21	2,6	19,0	4,6	2,9	9,6		4,8	57,0
23	2,9	20,0	4,0	3,0	8,7		5,1	54,0


Figura 246 - Níveis de metais normalizados pelo Sc em função da profundidade no testemunho 9 do canal de Bertioga.

As curvas de variação dos teores normalizados indicam uma progressão constante dos teores de base da coluna em direção ao topo, com incrementos

pouco significativos. Os fatores de enriquecimento são da mesma ordem daqueles encontrados no testemunho 3.

Tabela 19 - Níveis de metais normalizados pelo Sc no testemunho Bertioga 9.

Profundidade (cm)	Cr/Sc	Cu/Sc	Fe/Sc	Pb/Sc	Hg/Sc	Zn/Sc
0	4,2	1,2	0,6	3,3		14,9
1	4,1	1,3	0,6	3,0		15,5
3	3,8	1,2	0,6	2,6	0,1	12,8
5	4,5	1,4	0,6	2,7		14,5
7	4,3	1,3	0,6	2,6		14,2
9	4,4	1,3	0,6	2,6		13,6
11	4,0	1,1	0,6	2,3		13,7
13	4,2	1,1	0,6	2,2		13,8
15	4,0	1,1	0,6	2,4		13,8
17	4,0	1,0	0,6	2,1		12,7
19	3,8	0,8	0,5	1,8		10,8
21	4,0	1,0	0,6	2,0		11,9
23	3,9	0,8	0,6	1,7		10,6

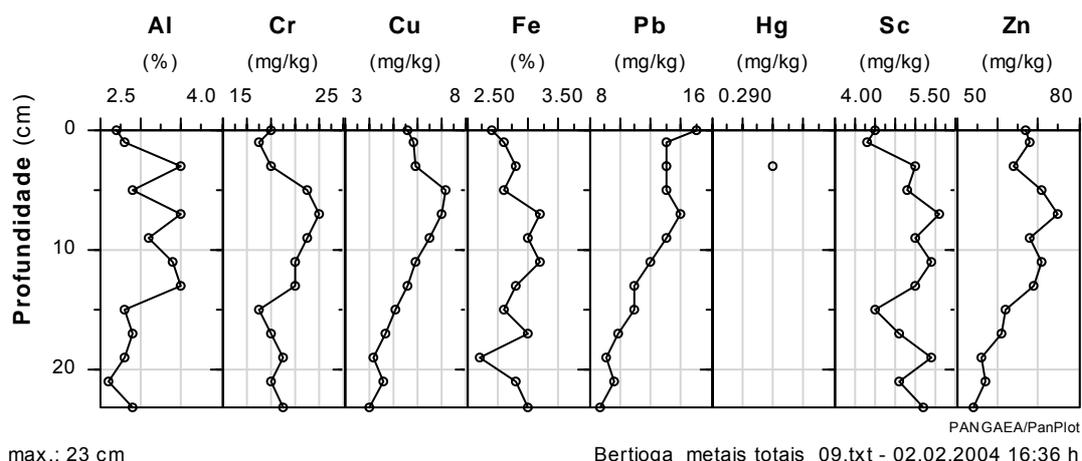


Figura 26 - Níveis de metais em função da profundidade no testemunho 9 do Canal de Bertioga.

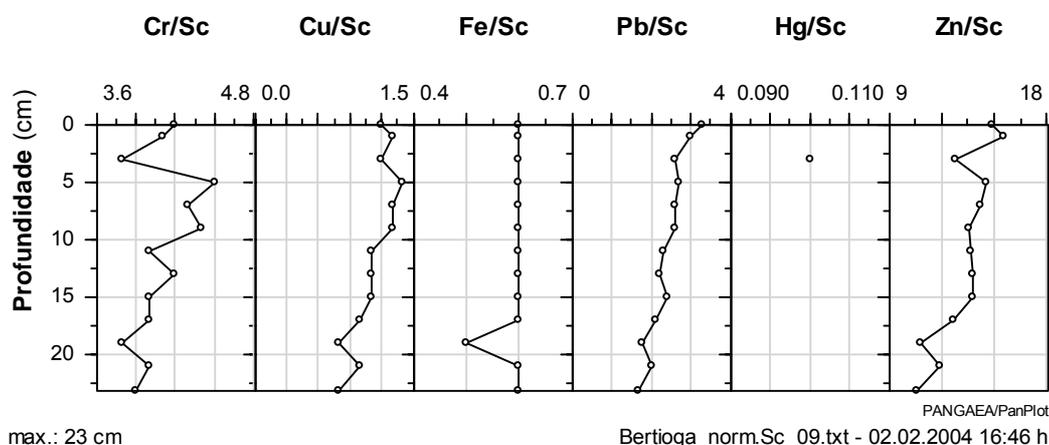


Figura 27 - Níveis de metais normalizados pelo Sc em função da profundidade no testemunho 9 do Canal de Bertioga.

O testemunho 21, localizado junto à confluência do canal da Bertioga com o canal do porto de Santos, teve seu teor mais elevado de Cu (11 mg.kg^{-1}) a profundidade de 9 cm, o de Pb a 15 cm de profundidade (27 mg.kg^{-1}) e 75 mg.kg^{-1} de Zn como o mais elevado teor a 9 cm de profundidade (**Tabela 20 – Figura 36**).

Tabela 20 - Níveis de metais no testemunho Bertioga 21.

Profundidade (cm)	Al (%)	Cr (mg.kg^{-1})	Cu (mg.kg^{-1})	Fe (%)	Pb (mg.kg^{-1})	Hg (mg.kg^{-1})	Sc (mg.kg^{-1})
0	1,3	15,0	6,7	1,5	10,0	2,5	46,0
1	1,5	16,0	7,5	1,7	11,0	2,8	48,0
3	1,3	13,0	6,3	1,6	9,0	2,6	45,0
5	1,3	17,0	7,8	1,8	11,0	2,8	59,0
7	1,7	20,0	9,9	2,1	13,0	3,6	62,0
9	1,8	23,0	11,0	2,3	14,0	3,7	75,0
11	1,0	12,0	4,9	1,4	6,6	1,9	41,0
13	1,5	13,0	6,3	2,0	9,0	2,3	48,0
15	1,9	18,0	8,9	1,5	27,0	2,8	57,0
17	1,3	13,0	6,4	1,6	8,4	2,4	43,0

Quando se analisam os teores obtidos a partir dos elementos normalizados, a tendência de incremento de teores da base para o topo não é nítida, sendo mais consistente uma variação dos teores ao redor de um teor médio para cada elemento ao longo da coluna sedimentar. Merece destaque um valor de concentração elevado de Pb a 15 cm de profundidade, da ordem de 2,5 vezes mais elevado do que o teor médio obtido ao longo da coluna.

Tabela 21 - Níveis de metais normalizados pelo Sc no testemunho Bertioiga 21.

Profundidade (cm)	Cr/Sc	Cu/Sc	Fe/Sc	Pb/Sc	Zn/Sc
0	6,0	2,7	0,6	4,0	18,4
1	5,7	2,7	0,6	3,9	17,1
3	5,0	2,4	0,6	3,5	17,3
5	6,1	2,8	0,6	3,9	21,1
7	5,6	2,8	0,6	3,6	17,2
9	6,2	3,0	0,6	3,8	20,3
11	6,3	2,6	0,7	3,5	21,6
13	5,7	2,7	0,9	3,9	20,9
15	6,4	3,2	0,5	9,6	20,4
17	5,4	2,7	0,7	3,5	17,9

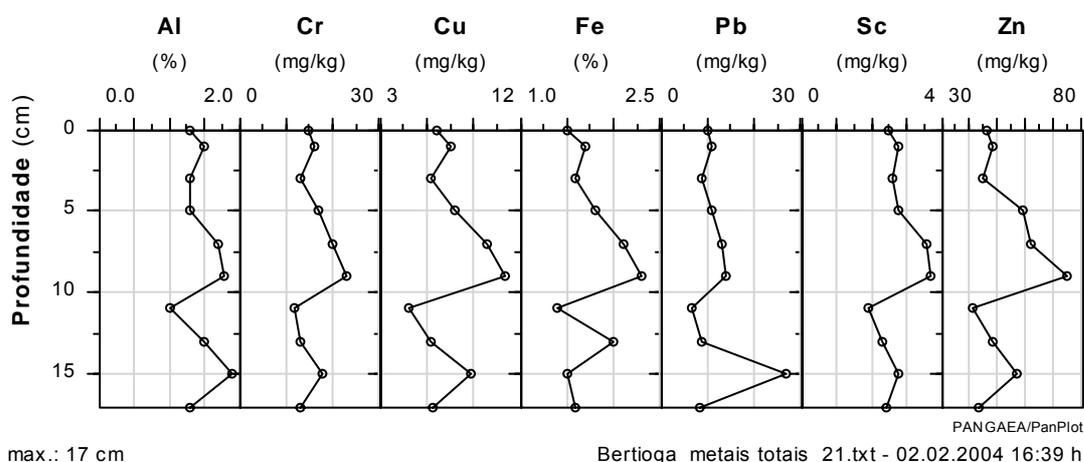


Figura 28 - Níveis de metais em função da profundidade no testemunho 21 do Canal da Bertioga.

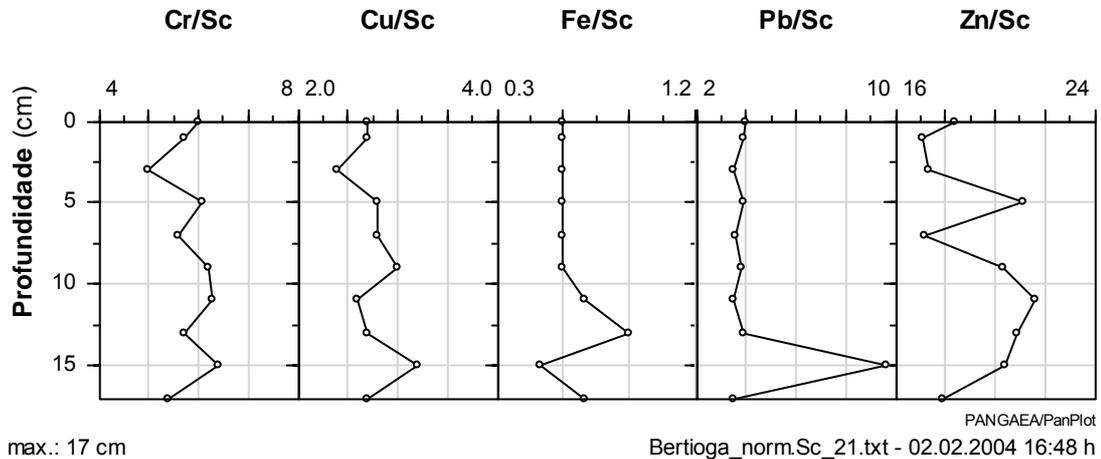


Figura 29 - Níveis de metais normalizados pelo Sc em função da profundidade no testemunho 21 do Canal de Bertioga.

Os fatores de enriquecimento do testemunho Bertioga foi o que teve os maiores valores de enriquecimento para Pb (1,2), Cu (3,0) e Zn (1,5) das três colunas analisadas na região. Considerando-se que a fonte potencial de contaminação do sistema está associada à região industrial e urbana de Cubatão, e que a dinâmica mais intensa do canal da Bertioga se desenvolve a partir das correntes de maré que se propagam com sentidos opostos a partir da área marinha junto à praia de Bertioga e da confluência do canal com a área do alto estuário em maré enchente e em maré vazante, a partir da área de confluência destas correntes opostas (Largo do Candinho) e os extremos do canal, é possível concluir pelo aprisionamento da maior carga de suspensão no segmento superior do canal, entre o alto estuário santista e o Largo do Candinho.

Desta forma, é possível supor que apenas parte da carga em suspensão, constituída de lamas e matéria orgânica às quais estão adsorvidos os metais contaminantes que adentram o canal, provenientes do alto estuário, é transferida nos eventos de vazante do segmento superior do segmento superior do canal da Bertioga, no sentido da confluência com o mar aberto.

Por outro lado, os pequenos incrementos de contaminação de elementos metálicos como aqueles observados nos testemunhos 03 e 09, podem estar também associados às áreas de ancoragem e recuperação (marinas e/ou piers de atracação e reparo) de embarcações, e condomínios localizados na margem direita do canal da Bertioga, junto à rodovia Guarujá/ Bertioga.

III PLATAFORMA CONTINENTAL RASA CONTÍGUA AO ESTUÁRIO SANTISTA

III.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA DA ÁREA

A unidade fisiográfica que se estende do Cabo Frio (RJ) até o Cabo de Santa Marta Grande (SC), foi denominada por Butler (1970), como Embaiamento de São Paulo. Nesta unidade, a plataforma continental apresenta largura variável entre 73 e 231 km, declividade entre 1:656 e 1:1333 e uma profundidade de quebra da plataforma situada entre 120 e 180 metros. De uma forma geral, as isóbatas aproximam-se entre si em direção ao norte e, nas proximidades do Cabo Frio, a plataforma apresenta sua menor largura.

Zembruscki (1979), analisando a fisiografia submarina do Embaiamento de São Paulo definiu, para a área, a compartimentação da plataforma continental (interna, média e externa), baseada nas mudanças de declividade observada. Na plataforma continental do Estado de São Paulo, esta compartimentação apresenta características de paralelismo entre os compartimentos e a atual linha de costa. Este padrão geral é modificado na plataforma continental localizada ao norte da Ilha de São Sebastião.

Ao norte da Ilha de São Sebastião, a plataforma média cede lugar a uma escarpa média, sendo que ambas apresentam seu limite externo, na área, na isóbata de 100 metros. Na área ao norte da Ilha de São Sebastião, Costa *et al.* (1988), evidenciaram a presença de escarpas a profundidades de 60 m, 110m e 130m, relativas ao nível do mar atual.

A Ilha de São Sebastião representa um notável marcador geomorfológico não somente da linha de costa, como da plataforma continental. Nesta área ocorre uma alteração na direção geral da linha de costa, que passa de SW-NE, ao sul da Ilha, para W-E, a norte. Também, ao norte da Ilha de São Sebastião, os recortes do litoral e a presença de várias ilhas tornam mais complexa a geomorfologia regional. Este trecho da margem continental apresenta alguns cânions e canais

submarinos (Búzios, São Sebastião, Queimada), porém com pouca expressão na topografia de fundo atual (Furtado *et al.*, 1996).

Ao sul de São Sebastião a presença de canais na plataforma continental interna e média sul paulista não é muito evidente, possivelmente em decorrência da colmatação dos paleocanais pelas areias transgressivas holocênicas. A existência de uma plataforma larga, com baixos declives, é indicativa de um processo sedimentar de expressão, vinculado ao retrocesso erosivo da Serra do Mar, que resultou na suavização da topografia de fundo e na progradação da plataforma continental. Uma alteração neste padrão geral é encontrada nas plataformas interna e média, entre Santos e a região da Juréia, onde se destaca um canal que se estende desde as proximidades da linha de costa até o talude superior. De acordo com Furtado *et al.* (1996), este canal pode representar a via preferencial tanto para o ingresso de águas de plataforma para a região costeira, como também o canal de exportação de sedimentos das regiões costeiras para o oceano profundo.

Corrêa (1979) e Corrêa *et al.* (1980, 1989), a partir da análise de cartas batimétricas de detalhe da plataforma continental localizada entre o Rio de Janeiro e o Rio Grande do Sul, identificaram feições aplainadas as quais os autores associaram fases de estabilizações do nível relativo do mar do evento quaternário, posterior ao Último Máximo Glacial.

Estas feições de estabilização situam-se, atualmente nas profundidades de 20m a 25m, 32m a 45m, 60m a 75m e entre 80m e 90m. Corrêa *et al.* (1980), propuseram as idades de 7.000 anos A.P., 9.000 anos A.P., 10.000 anos A.P., 11.000 anos A.P. e 11.500 anos A.P., respectivamente para os níveis supracitados.

Furtado *et al.* (1991) definiram, para a plataforma continental de São Paulo, cinco áreas de feições aplainadas, às quais os autores relacionaram períodos de estabilização do nível marinho transgressivo do quaternário superior. O primeiro intervalo, de 15 a 20m estaria relacionado ao período atual, o segundo intervalo, situado entre 30 e 40m, corresponderia a 9.000 anos A.P. O terceiro intervalo, situado entre 60 e 70m e o quarto, entre 80 e 100m, correspondendo respectivamente, a idades de 11.000 anos A.P e entre 11.000 anos A.P. e 12.000 anos A.P. O quinto nível, mais externo e antigo, situado a 130 m de profundidade,

corresponderia a um nível datado para o Rio Grande do Sul de 17.420 anos A.P. +/- 270 anos.

Localizada a uma profundidade variável entre 120 e 160 metros, na área de estudo, a Quebra da Plataforma marca a transição entre a Plataforma Continental e o Talude Continental. Este, por sua vez, estende-se, com uma declividade entre 1° e 1°45' até aproximadamente a isóbata de 2000 metros na área, onde dá lugar a uma notável feição morfológica do Atlântico Sul, o Platô de São Paulo.

Em relação aos processos oceanográficos de larga escala, a área está sujeita a fenômenos dinâmicos sazonais relacionados à penetração da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), pelo fundo, em direção às porções mais rasas da plataforma (Castro Filho *et al.*, 1987). O avanço da ACAS leva ao deslocamento da Água Costeira (AC), pela superfície, em direção às porções mais externas da plataforma.

De acordo com Mahiques & Fujikawa (1995), esses deslocamentos resultam no transporte e deposição de sedimentos finos, associados à matéria orgânica de origem continental, para as regiões mais externas da plataforma.

No litoral sul/sudeste brasileiro a circulação na plataforma interna e, conseqüentemente, das águas costeiras, são fortemente condicionadas pelos mecanismos de circulação atmosférica que atuam sobre a área, sendo que a interação dos trens de onda, incidentes sobre a costa, com o fundo oceânico raso, e a conseqüente geração de correntes são os agentes principais da movimentação de sedimentos junto ao fundo.

III.2 DINÂMICA DAS CORRENTES COSTEIRAS

Na plataforma continental interna, a este padrão geral de dinâmica das massas d'água, se superimpõe a dinâmica costeira, fortemente controlada pela circulação atmosférica do Atlântico Sul. Neste setor, a interação dos trens de ondas com o fundo oceânico raso, com a conseqüente geração de correntes, é o principal agente de movimentação de sedimentos junto ao fundo marinho raso.

No Atlântico Sul são dois os sistemas de massa de ar que predominam e condicionam a circulação atmosférica da área e, por conseqüência, os sistemas de ondas que se propagam para o litoral sul paulista, a partir dos centros de

geração, localizados no oceano distante. Segundo Fonzar (1994), estes sistemas são o Anticiclone Tropical Atlântico (ATA) e os Anticiclones Polares Migratórios (APM).

O ATA, cujas pressões máximas oscilam entre 1020 e 1023 mb, gera os ventos alísios, os quais vão tomando as direções NE e NW entre 10° e 40° de latitude sul. Dependendo do giro desta célula regional, sua ação favorece as temperaturas elevadas e a estabilidade do tempo.

Dada a localização do ATA, a leste da costa, os sistemas de ondas, gerados pelos ventos anti-horários que dela se originam, ao atingirem a linha de costa, de orientação geral NE-SW, ocasionam a geração e propagação de correntes de deriva litorânea de rumo geral para sudoeste.

Porém, esta situação é modificada pelo deslocamento das frentes polares relacionadas ao APM. O desenvolvimento dos sistemas frontais provoca perturbações frontais que acarretam, ao lado de intensas precipitações pluviométricas, mudanças na direção dos ventos predominantes, que passam a soprar dos quadrantes a sul.

Esses sistemas de ventos são os responsáveis pelo predomínio de trens de ondas de SW e SE, geradoras de correntes de deriva litorânea que percorrem a costa no rumo geral nordeste.

O deslocamento dos sistemas frontais, ao longo do litoral sul/sudeste/leste, induz a ocorrência de ciclos de ventos de rotação horária. Em conseqüência, pode ocorrer que, para um determinado segmento da costa, em situação de pré-frontal, a incidência de ondas de SW induza uma corrente de deriva litorânea para nordeste. Com o deslocamento do sistema frontal para menores latitudes, o mesmo segmento da costa passa a ser atingido por ondas de nordeste, que resultam em correntes de deriva de sentido de deslocamento oposto, para sudoeste .

Segundo Tessler (1988), estando os centros de geração das ondas que incidem sobre o litoral sul paulista, vinculados aos ventos alísios e às frontogêneses, localizados distantes da linha de costa e, sendo estes trens de ondas dotados de níveis de energia variados e de velocidades de propagação diferentes, verifica-se que conjuntos de ondas gerados em momentos distintos podem chegar simultaneamente à costa.

Bomtempo (1993), a partir dos levantamentos de parâmetros hidrodinâmicos executados na região da Juréia (SP), concluiu pela inexistência de uma concentração de direções preferenciais de incidência de ondas em períodos determinados do ano. Identificou, também, a existência de um padrão de alternância de correntes costeiras, com sentidos opostos de propagação.

Ainda segundo Bomtempo (1993.), a combinação do alinhamento da costa, dos ventos predominantes e do ângulo do ataque das ondas, geraria correntes preferencialmente voltadas para sudoeste. Porém, a partir da atuação de sistemas frontais polares, em situações de pré-frontais e frontais, ocorreria o predomínio dos ventos e trens de ondas dos quadrantes a sul resultando em alterações dos ângulos de incidência das ondas em relação à costa, originando correntes de deriva litorânea direcionadas para nordeste.

As medições de correntes, realizadas entre 1982 e 1985, indicaram correntes com velocidades, em superfície e próximas ao fundo, variando entre 10 e 30 cm/s, tanto direcionadas para nordeste como para sudoeste (Bomtempo, 1983). Os valores obtidos são suficientes para o transporte de sedimentos por tração, de diâmetros máximos equivalentes a areia fina como, também, para a manutenção e o deslocamento da carga detrítica e orgânica em suspensão.

Tessler (1988), a partir de observação de imagens aéreas, pôde constatar a ocorrência simultânea da incidência de trens de ondas de direções opostas, sobre um segmento da linha de costa, demonstrando a interação espaço-temporal de correntes de deriva costeira, com rumos opostos, nordeste e sudoeste, no litoral sul do Estado de São Paulo.

Este fenômeno é mais evidente na área de desembocadura do Rio Ribeira de Iguape que, ao causar a interrupção das correntes de deriva pelo efeito de molhe hidráulico de suas águas, interrompe o transporte arenoso ao longo da costa, acarretando a formação de feições arenosas com sentidos opostos de crescimento (Tessler, 1988).

III.3 CARACTERIZAÇÃO TEXTURAL DOS SEDIMENTOS DOS FUNDOS ATUAIS

A plataforma continental adjacente aos estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina acha-se caracterizada por uma zona de sedimentação terrígena moderna progredindo sobre uma superfície de areias relíquias e quartzosas (Corrêa., 1978 *in*: Tessler, 2001).

A plataforma interna exhibe um conjunto de sedimentos de textura arenosa onde predominam areias quartzosas apresentando manchas de ocorrência de cascalho bioturbado. O mapeamento apresentado indica a existência de uma plataforma média com sedimentos de textura siltico-argilosa a areno-siltico-argilosa, limítrofe a uma área de predomínio de areias bioturbadas caracterizada pelo autor como plataforma externa. Esta sedimentação teria iniciado há cerca de 18.000 anos A.P., quando do início de um período de ascensão do nível marinho, após longo período de recuo do nível do mar que na área teria atingido cotas de -110 metros.

Mapeamento de maior detalhe (1:1.000.000) em execução no âmbito do Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), tem evidenciado a ação mais efetiva da dinâmica costeira, influenciada pelos mecanismos de circulação atmosférica e sistemas de ondas incidentes, em profundidades de até 50 metros. Portanto, sobre esta área de dinâmica mais intensa denominada de plataforma continental interna observa-se o predomínio de sedimentos arenosos, essencialmente quartzosos, de textura fina a média. Este padrão geral só se apresenta modificado em áreas de ocorrência de manchas de sedimentos lamosos. Estas áreas estão diretamente associadas a desembocaduras de sistemas costeiros (Paranaguá, Cananéia, Icapara) e mais claramente à foz do Rio Ribeira de Iguape.

Na superfície de fundo da plataforma continental contígua ao estuário santista predominam sedimentos de composição areia fina a muito fina, principalmente nas áreas localizadas entre a linha de costa até a proximidade da isóbata de 90 metros. A partir desta área em direção ao limite externo da plataforma passam a predominar termos granulométricos mais finos, lamas. Por analogia com os

resultados descritos em Tessler (2001), considerando-se a continuidade lateral de predomínio de sedimentos lamosos, em direção a plataforma a sul da área de amostragem, ao longo das isóbatas mais profundas que 90 metros, que estes sedimentos finos devem corresponder a sedimentos modernos carreados em suspensão a partir de fontes localizadas no continente, ao norte e ao sul da área de deposição. Os teores de carbonato biodetrítico contidos nos sedimentos são diminutos e de distribuição espacial aleatória.

Para uma interpretação mais completa da sedimentologia na plataforma, pode ser utilizado o mapa desenvolvido por Rodrigues *et al.* (2003) que foi construído levando-se em conta todo o arquivo do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) (**Figura 30**).

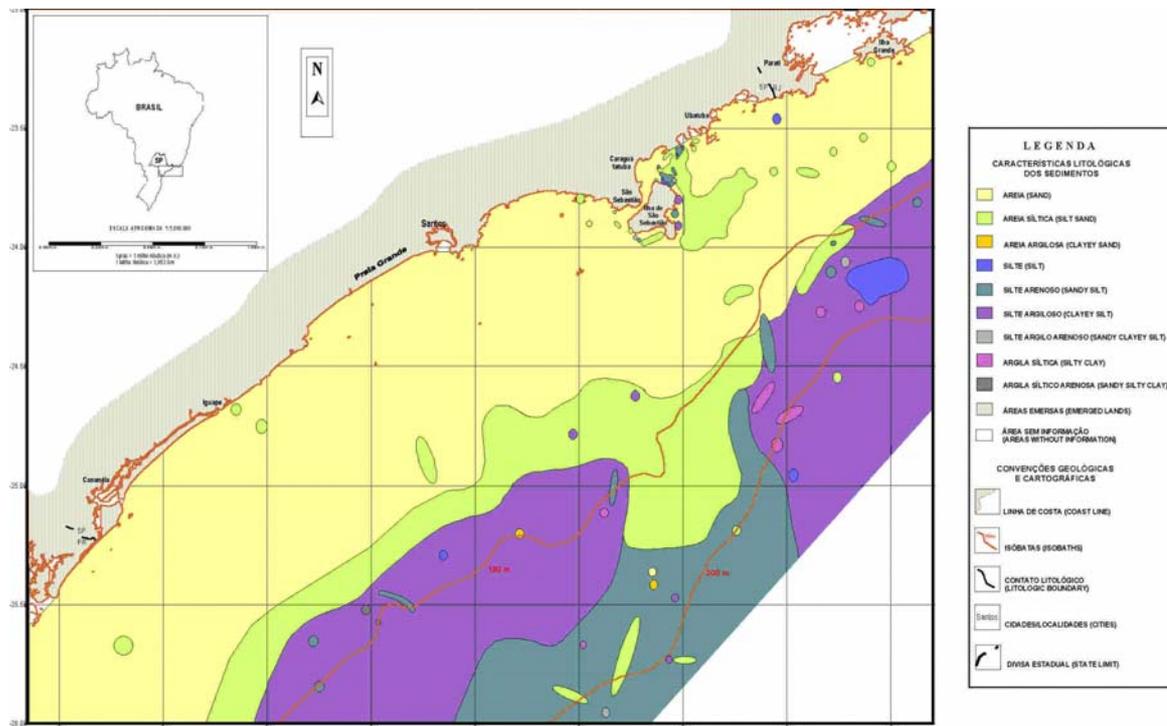


Figura 30 - Mapa Sedimentológico da Plataforma Continental Paulista (Rodrigues *et al.*, 2003).

Neste mapa, nota-se a presença de sedimento arenoso em toda a região costeira, até a isóbata de 80 metros aproximadamente. A tendência desta isóbata até a isóbata de 100 metros é a transição de areia siltosa (cor verde claro) para uma faixa de sedimentos silto-argilosos (cor roxa). Esta seqüência só é

interrompida na altura da ilha de São Sebastião, onde a faixa de sedimento silto-argiloso é interrompida. Muito provavelmente, esta interrupção é resposta à circulação de água ali existente.

III.4 METAIS CONTIDOS NOS SEDIMENTOS DO FUNDO ATUAL E NAS COLUNAS SEDIMENTARES HOLOCÊNICAS QUE RECOBREM A PLATAFORMA CONTINENTAL RASA CONTÍGUA AO ESTUÁRIO SANTISTA

Um mapeamento geoquímico regional realizado pela CPRM (Machado, 1985 - **Figura 31**), constitui-se no único conjunto de dados, de escala regional, sobre os níveis de metais contidos nos sedimentos da margem continental brasileira. Muito embora as técnicas de análise executadas por este projeto não permitam uma comparação direta entre seus resultados e os teores, obtidos para a plataforma continental paulista, verifica-se que os teores obtidos por Tessler (2001) para testemunhos coletados ao longo da isóbata de 100 metros, se apresentam superiores à média regional da plataforma brasileira, cujos valores calculados são de 12 mg.kg⁻¹ para o cobre e de 16 mg.kg⁻¹ para o chumbo.

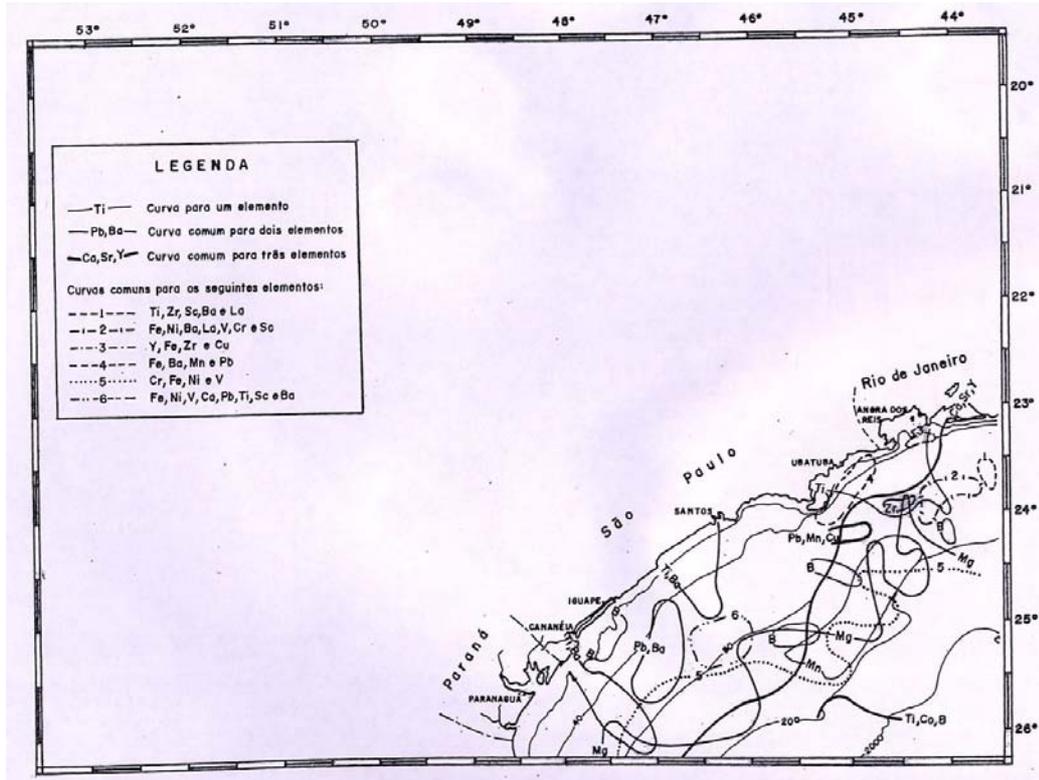


Figura 31 -Valores de metais na plataforma sudeste brasileira (Machado, 1985).

Diferentemente das observações feitas para o chumbo e o cobre, o teor de zinco mostra concentrações muito baixas para a plataforma paulista, relativamente à média calculada pela CPRM, para toda a plataforma brasileira (149 ppm).

Dornelles *et al.* (1998), em um estudo dos teores de metais contidos nos sedimentos da plataforma continental da região de Cabo Frio (RJ), encontraram valores de cobre variando entre 0,8 a 7,7 mg.kg⁻¹, entre 1,5 e 22,9 mg.kg⁻¹ de chumbo e de 4,2 a 55,3 mg.kg⁻¹ de zinco. Estes valores são inferiores às variações de chumbo e cobre, obtidas para a plataforma paulista. Neste estudo, os autores também apresentam dados geoquímicos obtidos para a plataforma e talude do Estado do Rio de Janeiro, com valor médio de cobre de 3,3 mg.kg⁻¹, de 6 mg.kg⁻¹ de chumbo e de 10,5 mg.kg⁻¹ de zinco, que são muito inferiores às médias obtidas para a plataforma sul paulista.

Análises de correlação, realizadas preliminarmente entre os teores dos elementos metálicos e os demais parâmetros analisados (porcentagens de areia, lama, CaCO₃, carbono orgânico e nitrogênio total), apenas evidenciaram

correlações positivas, e significativas, já há muito relatadas pela bibliografia, como entre os metais e teores elevados de lama e os componentes da matéria orgânica.

III.4.1 As concentrações de metais contidos em sedimentos da atual superfície de fundo, na área de influência do descarte do material dragado no estuário santista

Na plataforma continental rasa contígua ao estuário santista, na área de influência da região de descarte dos sedimentos dragados do estuário santista, o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (I.O.USP), vem desenvolvendo um projeto integrado (Projeto ECOSAN), que coletou 23 amostras de superfície de fundo visando determinar os níveis de concentração dos metais contidos (Fe, Cu, Pb, Mn e Zn) , bem como dois testemunhos rasos obtidos ao longo da isóbata de 100 metros. **(Figura 32).**

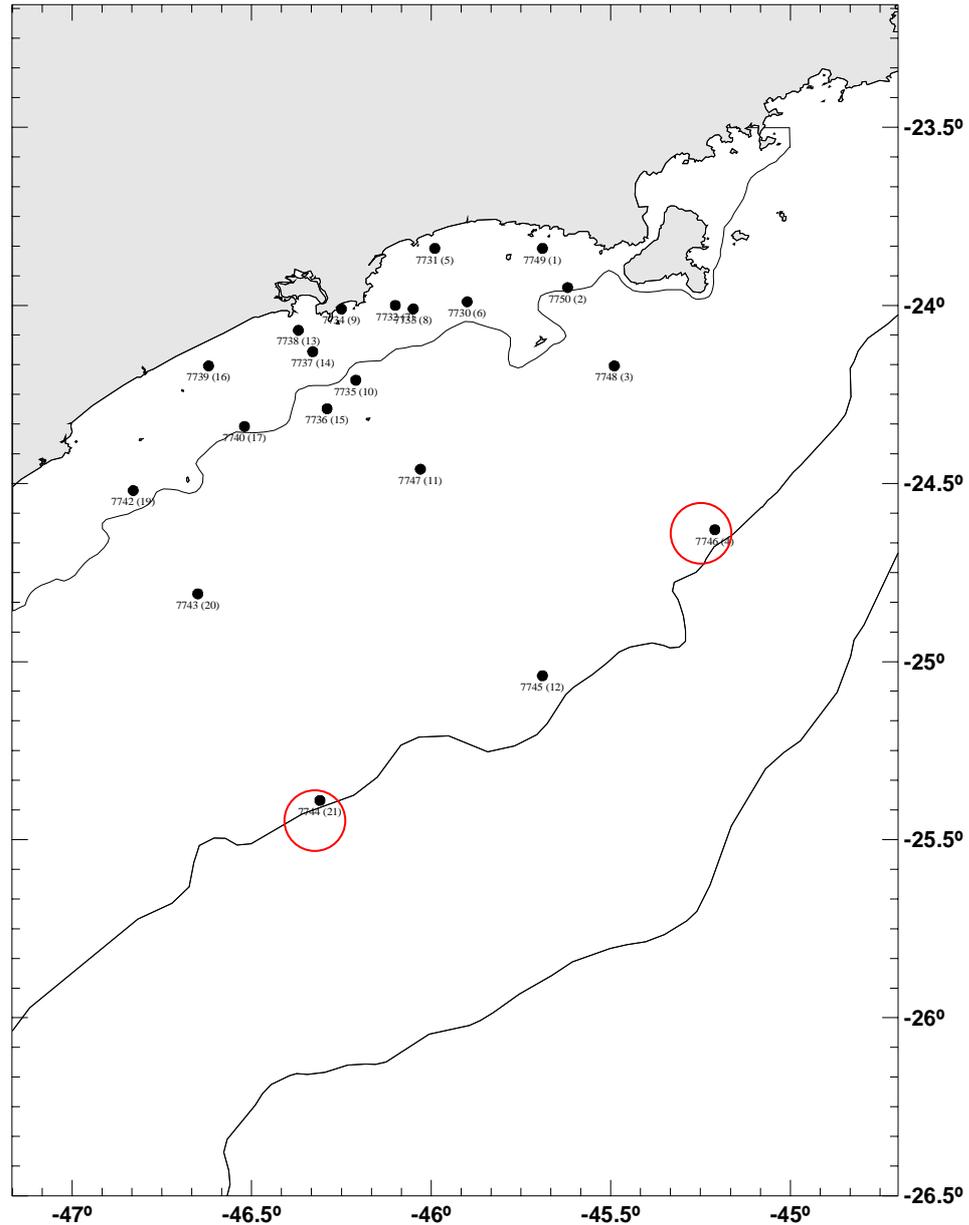


Figura 32 - Localização dos testemunhos 7744 e 7745 na plataforma continental.

Quando confrontados os teores obtidos para os metais analisados, principalmente considerando os teores máximos para o chumbo ($11,3 \text{ mg.kg}^{-1}$), o cobre ($10,4 \text{ mg.kg}^{-1}$) e o zinco ($49,8 \text{ mg.kg}^{-1}$), com os valores do “background” regional, ou mesmo com os teores médios dos metais contidos nos sedimentos do alto estuário, canal da Bertioga, ou baía de Santos, verifica-se uma redução da ordem de grandeza dos teores contidos (**Tabela 26**).

Tabela 22 - Teor de metais de sedimento de superfície de fundo da plataforma continental (em mg.kg⁻¹).

Amostra	Pb	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia (%)	Lama (%)
<i>Valores de Clark</i>	49	13	13700	230	45		
1	4,58	0	7041	194	14,7	97,33	2,67
3	3,84	2,17	6446	93,5	14,5	99,69	0,31
4	2,27	1,86	4558	130	10,5	99,82	0,18
5	4,21	ND	7372	110	12,4	96,4	3,6
6	3,06	ND	3936	78,3	9,4	99,17	0,83
7	6,1	2,13	7848	144	19	99,67	0,33
8	3,54	ND	4281	188	8,75	99,68	0,32
9	4,51	ND	7304	160	15,5	95,14	4,86
11	3,58	1,91	5292	91,1	13,2	94,1	5,9
12	11,3	10,4	21829	1240	49,8	1,56	98,44
13	6,05	1,97	11412	255	23	96,93	3,07
14	3,01	ND	2697	63	6,9	99,21	0,79
15	2,91	2,15	2532	92,9	5,6	99,72	0,28
16	5,45	ND	6568	124	14,3	95,37	4,63
17	2,69	ND	3058	32,1	9	99,45	0,55
18	5,75	ND	6040	148	14,2	93,92	6,08
19	3,06	ND	3215	47,7	12,1	99,27	0,73
20	3,94	1,69	7122	85	17,7	95,42	4,58
21	9,65	8,95	18460	825	42,6	31,84	68,16

Este fato está diretamente associado ao predomínio de sedimentos arenosos (areias finas a muito finas) que recobrem praticamente todo o intervalo da plataforma continental centro-sul paulista, entre as isóbatas de 5 e 80 metros (Figura 33).

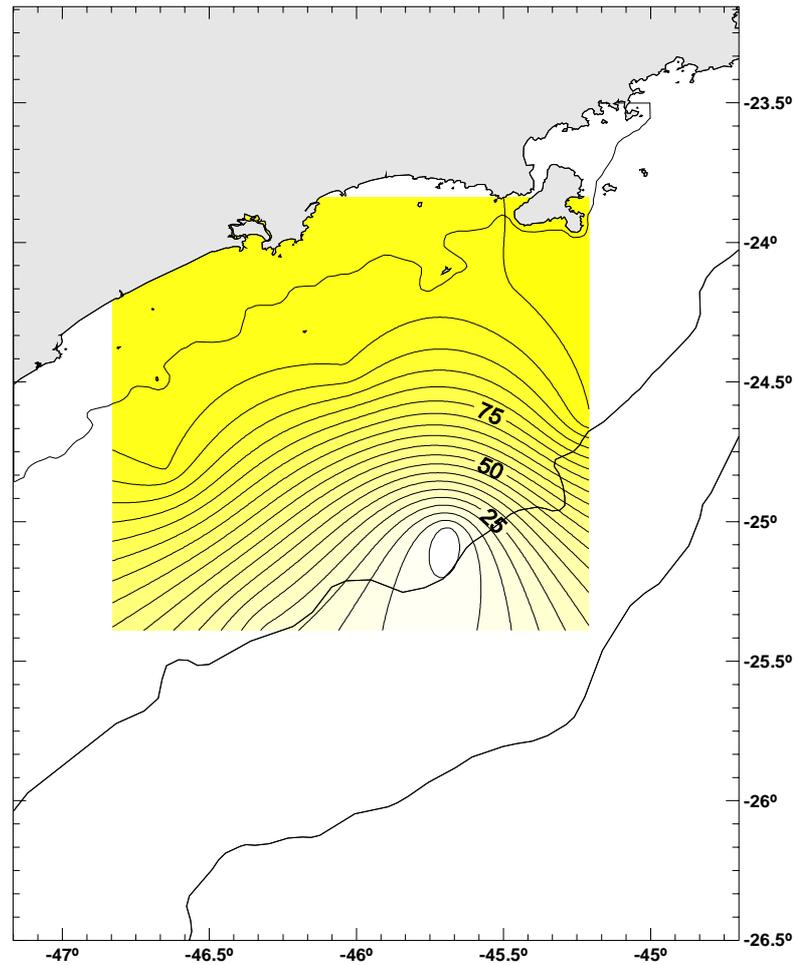


Figura 33 - Distribuição espacial do teor de areia na plataforma continental adjacente a Santos.

Um incremento dos valores de lamas, aos quais se associam os metais, se estabelece a profundidades superiores a 70 metros (**Figura 34**).

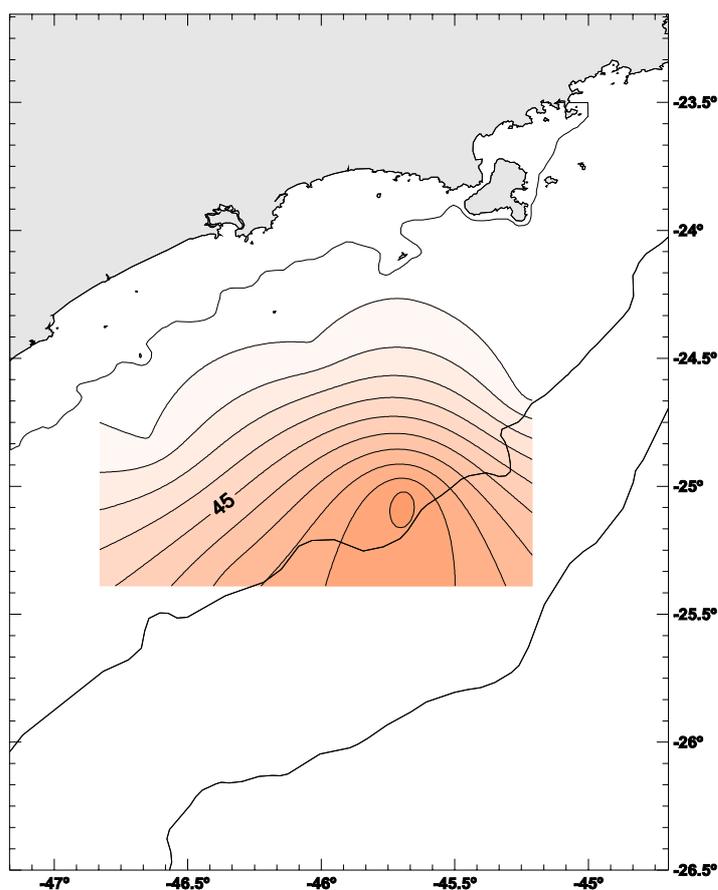


Figura 34 - Distribuição espacial do teor de lama na plataforma continental adjacente a Santos.

Apenas nestas áreas mais profundas da plataforma centro-sul paulista é que os teores obtidos passam a apresentar significativo incremento quando comparados com os obtidos para amostras coletadas mais próximo do continente.

Apenas os metais Chumbo e Cobre apresentam pequenos incremento de teores nos sedimentos depositados mais próximos do estuário santista, porém ainda muito pouco significativos em relação aos teores médios obtidos para a área estuarina santista, e os teores obtidos para os sedimentos depositados a maiores profundidades (**Figuras 35 e 36**).

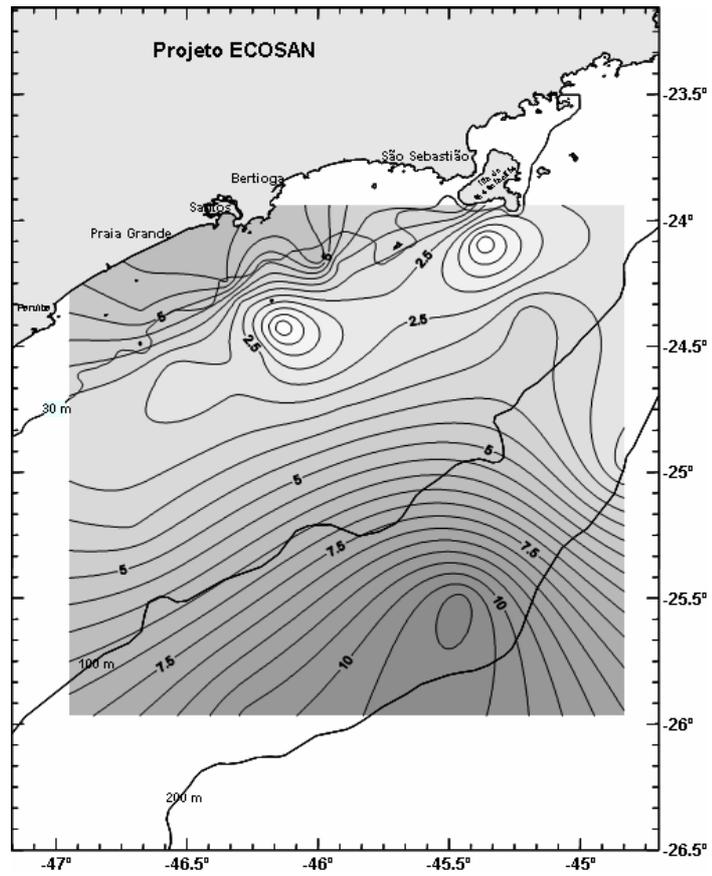


Figura 35 - Distribuição espacial do teor de Pb nos sedimentos de fundo da plataforma continental.

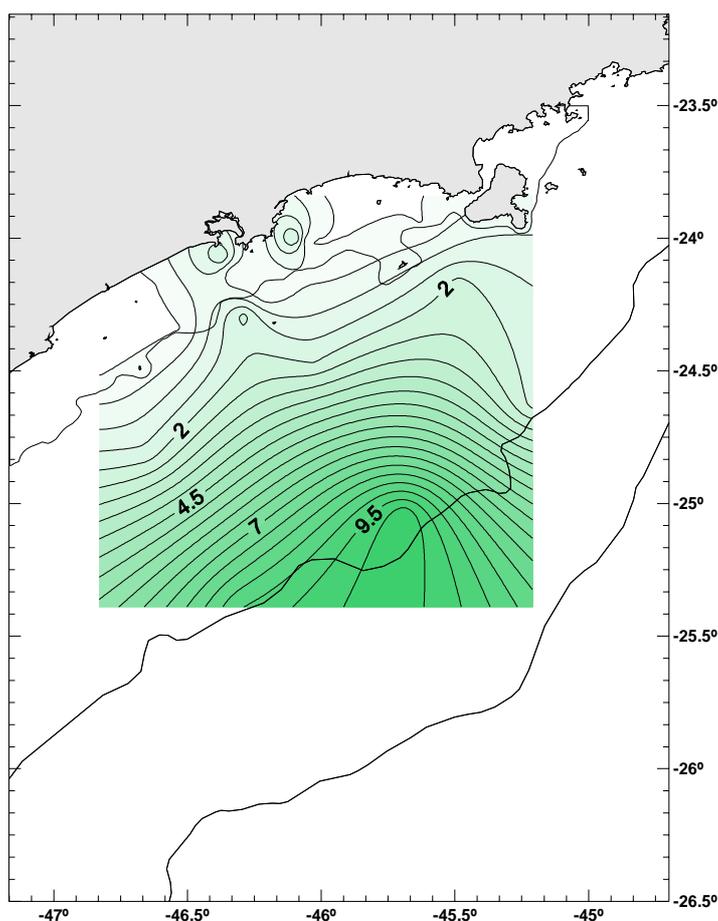


Figura 36 - Distribuição espacial do teor de Cu nos sedimentos de fundo da plataforma continental.

A distribuição espacial do Ferro, Manganês e Zinco apresenta tendência de incremento de teores em razão direta com o aumento da profundidade, atingindo valores mais significativos nas profundidades próximas de 100 metros, muito distantes das áreas submetidas aos processos de remobilização sedimentar condicionada pela ação dos sistemas de ondas incidentes sobre o litoral paulista (Figuras 37,38 e 39).

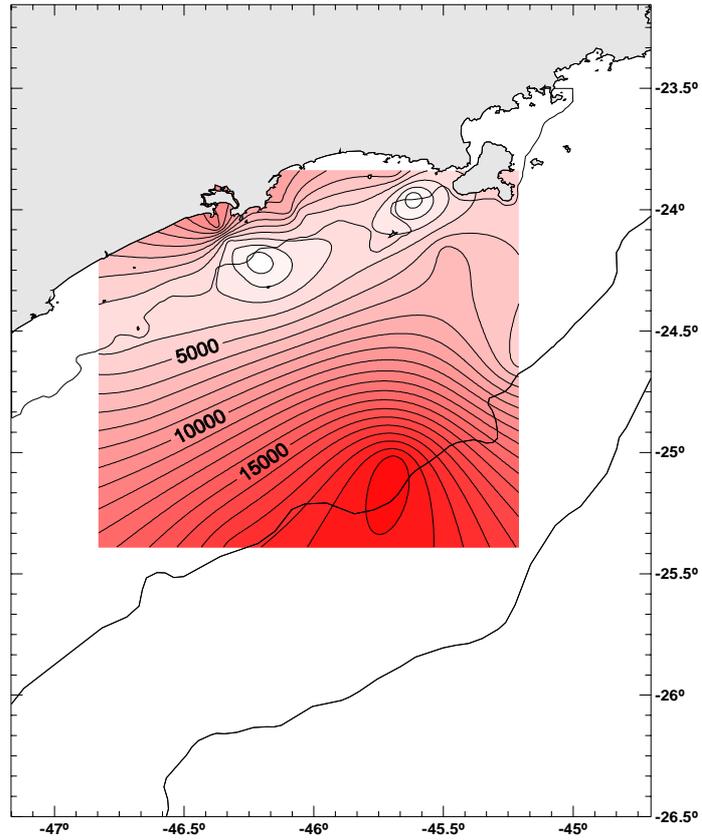


Figura 37 - Distribuição espacial do teor de Fe nos sedimentos de fundo da plataforma continental.

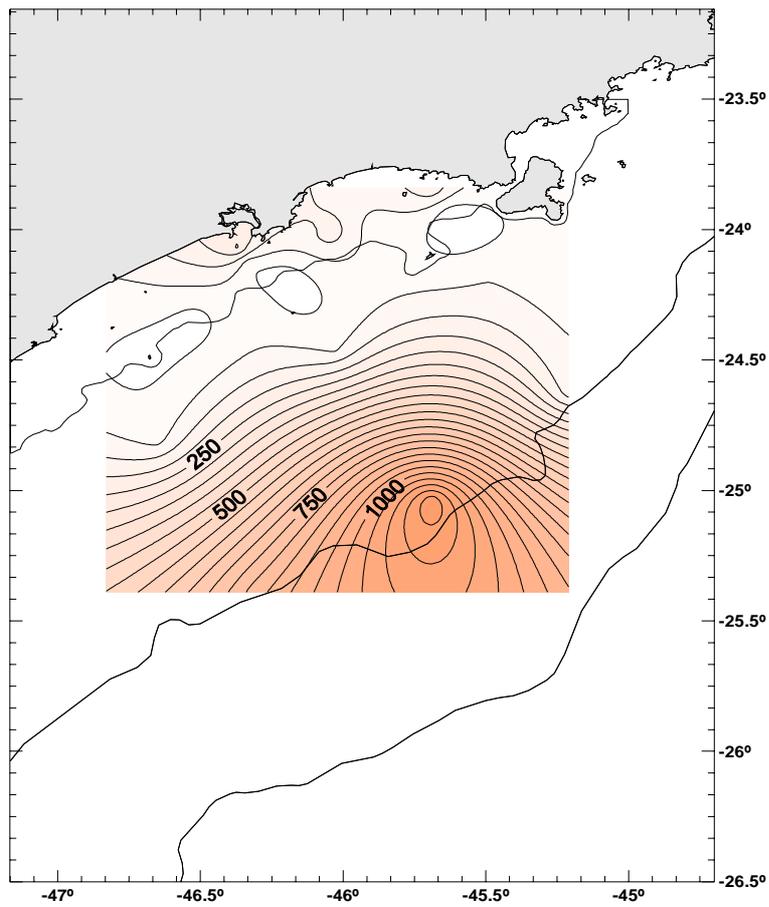


Figura 38 - Distribuição espacial do teor de Mn nos sedimentos de fundo da plataforma continental.

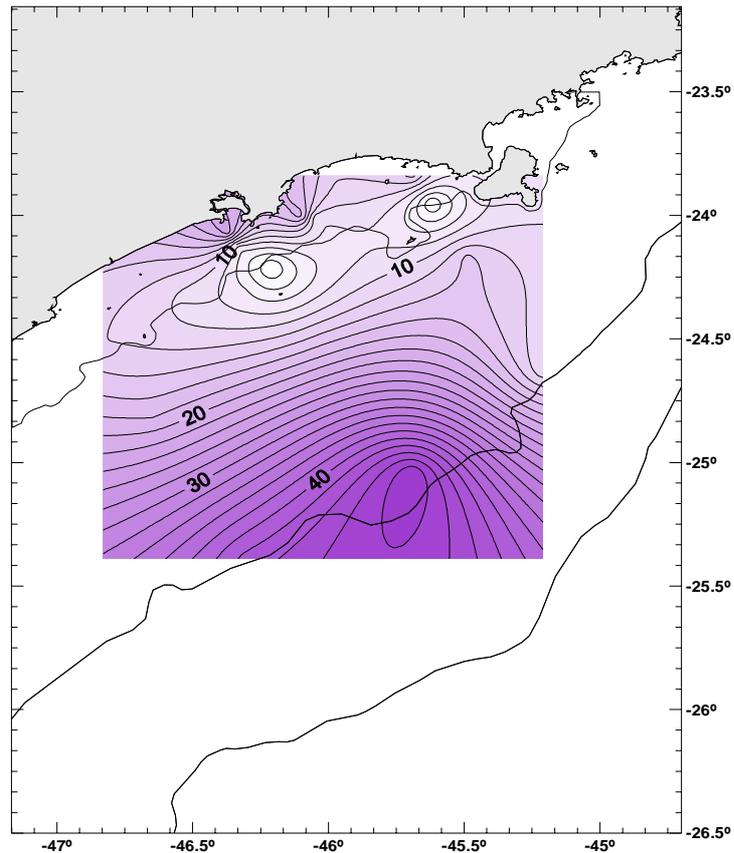


Figura 39 - Distribuição espacial do teor de Zn nos sedimentos de fundo da plataforma continental.

A partir da análise dos dois testemunhos coletados nas proximidades da isóbata de 100 metros (7744 e 7745), é possível verificar que ao longo dos quase 40 cm de coluna amostrada, os teores dos metais analisados variam ao redor de um valor médio, e de seus desvios padrão. Apenas o manganês apresenta um incremento significativo de seus teores da base para o topo da coluna analisada, em especial a partir da profundidade de 5 cm da atual superfície de fundo (**Figuras 40 e 41**).

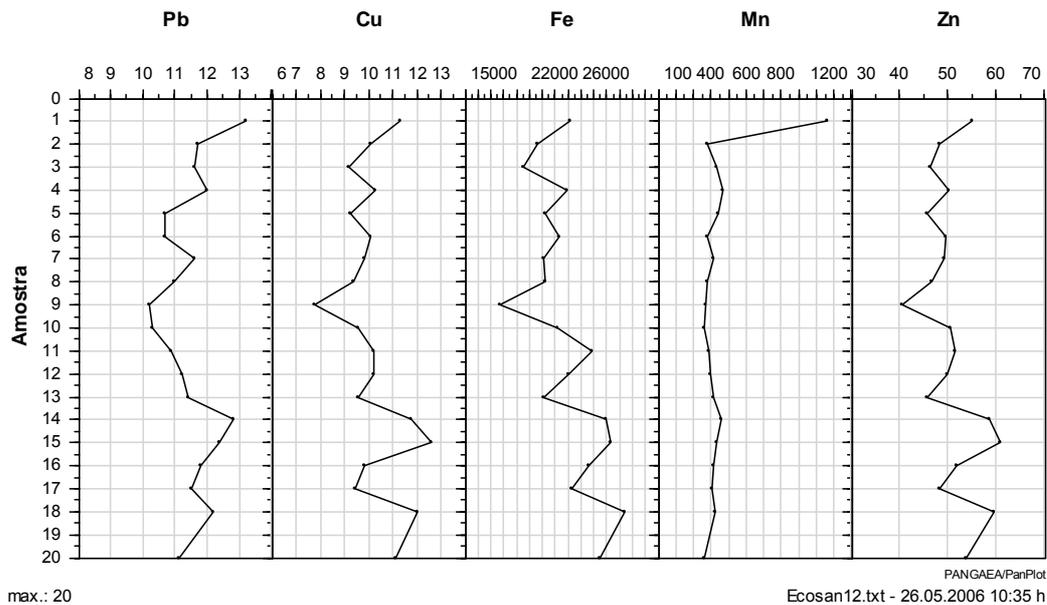


Figura 40 - Teor de metais presente no testemunho 7745.

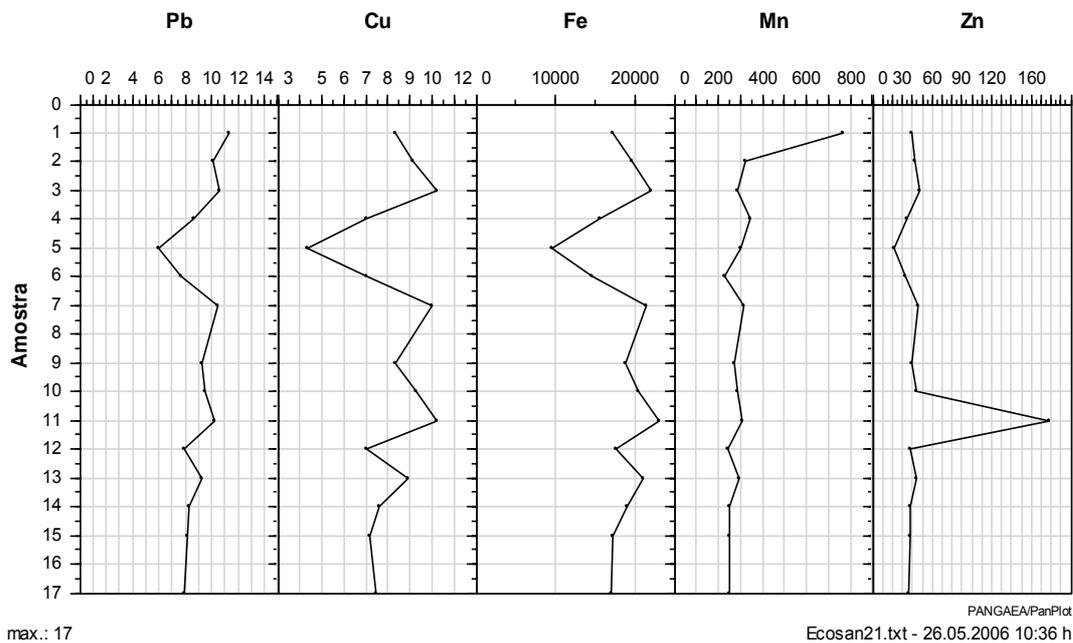


Figura 41 - Teor de metais presente no testemunho 7744.

Como não foram obtidas as taxas de sedimentação para estes testemunhos, não é possível fazer inferências acerca do significado, da origem do material, ou

mesmo associações com os períodos de incremento de teores, observados na região estuarina, vinculadas a fase de maior influência antrópica.

Uma densa malha de recobrimento de coleta e análise de sedimentos de superfície de fundo, na área de descarte do material dragado no estuário santista, e seus entornos, foi patrocinada pela Consultoria Paulista. Os resultados das análises texturais indicaram o predomínio de sedimentos arenosos com teores de metais contidos da mesma ordem de grandeza dos presentes nos sedimentos da baía de Santos, e do “background” regional. O As é o único elemento que apresenta pontualmente teores acima dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 344/04.

Muito embora um levantamento dos resultados de diferentes campanhas amostrais, e de procedimentos analíticos diversos, não possam ser considerados sem ressalvas, como elemento de comparação, a identificação dos limites máximos e mínimos de concentração de elementos metálicos presentes nos sedimentos de fundo do sistema estuarino, e plataforma continental contígua, podem funcionar como indicativo das ordens de grandeza dos níveis de concentração dos elementos metálicos considerados.

A Tabela 27 apresenta os teores máximos e mínimos de concentração de alguns metais contidos nos sedimentos para a região do estuário santista. Apresenta também os valores basais, obtidos por Quinaglia (2005) além dos valores de informação como da crosta terrestre e *shale*, para efeitos de comparação.

Tabela 23 – Concentração mínima e máxima, em mg.kg^{-1} , para diferentes metais coletados na região. Comparação com os níveis basais, de crosta e shale.

Metais	Alto Estuário	Canal de Bertioga	Baía de Santos	Plataforma Continental	Basal ⁽¹⁾	Crosta ⁽²⁾	Shale ⁽²⁾
As	8,50 ^{*(3)}	8,74 – 10,9 ⁽¹⁾	3,80 – 20,80 ⁽⁴⁾	-	9,84	1,6	20
Pb	6,7 – 59,0 ^{** (5)}	3,6 – 19,0 ⁽⁶⁾	0,10 – 40,61 ⁽⁴⁾	2,27 – 11,3 ⁽⁷⁾	<0,26	17	20
Hg	0,6 – 5,0 ^{** (5)}	<0,02 ⁽¹⁾	0,01 – 0,27 ⁽⁴⁾	-	<0,02	0,08	0,18
Cd	-	<0,02 ⁽¹⁾	-	-	<0,02	0,1	0,3
Cu	3,1 – 48,0 ^{** (5)}	2,1 – 8,2 ⁽⁶⁾	4,24 – 42,12 ⁽⁴⁾	1,86 – 10,4 ⁽⁷⁾	11,0	39	45
Cr	14 – 62 ^{** (5)}	26,1 – 29,5 ⁽¹⁾	11,0 – 73,0 ⁽⁶⁾	-	27,8	69	90
Zn	22 – 128 ^{** (5)}	14 – 80 ⁽⁶⁾	9,31 – 274,2 ⁽⁴⁾	5,6 – 49,8 ⁽⁷⁾	63,8	67	95
Ni	22,4 ^{*(3)}	10,1 – 12,3	0,10 – 22,56 ⁽⁴⁾	-	11,2	55	50

(1) Quinaglia (2006); (2) Li et al (2003); (3) Luiz Silva (2006); (4) Requena (2005); (5) Figueira (2004); (6) Hurtado (2003); (7) Ecosan (2006)

*Valores médios; **Valores ao longo do testemunho

IV CONSIDERAÇÕES GERAIS

A análise integrada dos sedimentos de superfície de fundo do estuário santista, e da plataforma continental contígua, indicam que apenas os sedimentos que recobrem as áreas designadas como alto estuário, e parte do canal do porto, apresentam níveis elevados de metais contidos nos sedimentos

A baía de Santos, a plataforma continental contígua, e o segmento do canal da Bertioga compreendido entre o largo do Candinho e a junção do canal com o oceano, não se constituem em áreas onde estejam depositados, de forma extensiva, sedimentos apresentando níveis elevados de material contido, considerando como referência os níveis de metais estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/04.

Resultados de análises de sedimentos do fundo atual que apresentam níveis elevados, em relação aos parâmetros estabelecidos pela Resolução, nestes compartimentos, representam resultados pontuais. Normalmente, estes resultados elevados estão associados a um único elemento químico, que se encontra fora do padrão estabelecido, diferentemente de alguns setores do alto estuário, onde são detectadas amostras que apresentam níveis elevados para mais de uma espécie química.

Nestas áreas do alto estuário e canal do porto, as seqüências sedimentares localizadas abaixo de profundidades superiores a aproximadamente 2 metros, considerados a partir da superfície do fundo natural atual, apresentam seqüências sedimentares holocênicas, que preenchem os canais estuarinos com níveis de metais compatíveis com os valores do “background” regional, e local. Desta forma, estes conjuntos de sedimentos não estão afetados por metais introduzidos no sistema pelas atividades industriais, e antrópicas, do entorno do estuário santista, ao longo da segunda metade do século passado. Esta consideração deve ser tomada com restrições quando consideradas as seqüências sedimentares do alto estuário dispostas ao longo do canal da COSIPA, e seu entorno.

Os níveis de enriquecimento em metais das seqüências de subsuperfície dos canais estuarinos, em particular o dos canais principais de navegação do porto e no alto estuário estão mais diretamente associados ao aporte atual de sedimentos

finos que apresentam teores mais elevados provenientes do alto estuário, e também a escorregamentos laterais (taludamento) de áreas atingidas pelo processo de alargamento e aprofundamento dos canais de navegação. Estes processos geram recobrimento de seqüências sedimentares mais antigas, onde os níveis de metais contidos não se apresentam elevados. A dinâmica sedimentar atual do sistema, que contempla uma corrente residual de vazante, a partir do balanço entre a dinâmica das correntes de enchente e vazante, transfere sedimentos com teores mais elevados de metais associados, ou seja, sedimentos finos provenientes das camadas de topo das seqüências sedimentares do alto estuário, se depositam ao longo do topo das seqüências sedimentares dispostas ao longo do canal principal de navegação, e as áreas marginais dos canais estuarinos.

Sem uma fonte de aporte de material enriquecido de metal contido, que não seja o material em suspensão proveniente dos canais estuarinos, a baía de Santos e a plataforma continental contígua não apresentam depósitos de material atual de superfície de fundo, e de subsuperfície, com níveis de metais superiores aos estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/04.

Na baía de Santos, as áreas de concentração de sedimentos mais enriquecidos em elementos metálicos provenientes do sistema estuarino são espacialmente delimitadas, associadas principalmente aos mecanismos de correntes que se estabelecem na baía. Apenas nestas áreas limitadas os sedimentos do fundo atual apresentam níveis de metais mais elevados, porém ainda dentro dos parâmetros estabelecidos pela Resolução (nível 1).

Na plataforma continental a atual dinâmica sedimentar da área, acoplada às variações relativas do nível marinho ao longo do Quaternário, apenas possibilita a deposição extensiva de sedimentos finos, em profundidades superiores a 70 metros. Desta forma, o conjunto de sedimentos arenosos apresentam níveis de metais contidos muito inferiores ao estabelecido pela Resolução, e os mais baixos comparativamente aos sedimentos presentes na baía de Santos e nos canais estuarinos.

V REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS NO TEXTO

ALMEIDA, F.F.M. & CARNEIRO, C.D.R. 1998. Origem e evolução da Serra do Mar. Revista Brasileira de Geociências, v.28(2): 135 - 150.

BOMTEMPO, V. L. 1993. Hydraulic and sedimentological features of a stretch of the southern coast of the State of São Paulo (Brazil). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 3. Camboriú, 1993. Anais. Camboriú, ABRH. p. 353-361.

BUTLER, L.W. 1970. Shallow structure of the continental margin, Southern Brazil and Uruguay. Geol. Soc. Am. Bull. V81:1079-1096.

CASTRO FILHO, B.M.; MIRANDA, L. B. & MYAO, S. Y. 1987. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. BOLM INST. OCEANOGR., S Paulo, 35(2): 135-151.

CETESB 1994. NORMA L5.600, SÓLIDOS: Determinação de metais por espectrofotometria de absorção atômica - método da digestão ácida com água régia - Método de Ensaio. CETESB 1994.

CETESB 1995. NORMA L6.160, Sedimentos: determinação da distribuição granulometria - Método de Ensaio. CETESB 1995.

CETESB 1998. Avaliação do Grau de Contaminação do Sedimento ao Longo do Canal de Navegação do Porto de Santos – Projeto:47.2.03.C.00 – Atendimento ao Ministério Público Estadual – Dezembro/1998 – CETESB.

CETESB 1999. Estudo dos Manguezais da Baixada Santista – Relatório Final – Março/1998 – CETESB.

CORRÊA, I.C.S. 1978. Morfologia e sedimentologia da plataforma continental entre São Paulo e Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 147p., 1978.

CORRÊA, I. C. S.; BAITELLI, R.; SANTOS, H. M. & ADE, M. V. B. 1989. Sea level change in south-brazilian continental shelf. In: INTERNATIONAL

SYMPOSIUM ON GLOBAL CHANGES IN SOUTH AMERICA DURING THE QUATERNARY: PAST-PRESENT-FUTURE. São Paulo, ABEQUA, 1: 245-279.

CORRÊA, I. C. S.; PONZI, V. R. A. & TRINDADE, L. A. F. 1980. Níveis marinhos quaternários da plataforma continental do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. Camboriú, 1980. Anais. Camboriu, SBG, 1: 578-587.

CORSI, A.C.1999. Estudo da dispersão de metais pesados em água e sedimentos decorrente a partir de mineralizações de chumbo – zinco – prata: O exemplo das jazidas Canoas, Perau e Barrinha (Vale do Ribeira,PR). Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 139p.

EMBRAPORT 2004. Estudo de impacto ambiental para instalação de um terminal marítimo.(volumes I a VII. Anexos. Disponibilizado pelo empreendedor).

FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER; M. G. ;MAHIQUES M. M.; FUKUMOTO,M.M.; & CAZZOLI y GOYA, S.2004. Use Of Tomlinson Pollution Index, Enrichment And Contamination Factors To Evaluate The Metal Contents In Shallow Sedimentary Columns From Santos Estuary And Bay, Sp – Brazil. In: 4th International Symposium Environmental Geochemistry in Tropical Countries. Búzios, Rj, Brasil.

FONZAR, B.C. 1994. A circulação atmosférica na América do Sul: os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetória. CADERNOS DE GEOCIÊNCIAS, IBGE, 11: 11-33.

FUKUMOTO, M. M. 2002. Caracterização da sedimentação atual e reconstituição da história deposicional recente na Baía de Santos, a partir das características composicionais e isotópicas da matéria orgânica. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.109p.

FÚLFARO, V.J. & PONÇANO, W.L., 1976. Sedimentação atual do estuário e baía de Santos: um modelo geológico aplicado a projetos de expansão da zona portuária. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 1. Anais, Rio de Janeiro. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. V.2, 67-90.

- FÚLFARO, V.J.; SUGUIO, K. & PONÇANO, W.L. 1974. A gênese das planícies costeiras paulistas. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28. Anais. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Geologia. v.3. p.37-40.
- FURTADO, V. V.; BONETTI FILHO, J. & CONTI, L. A. 1996. Paleo river valley morphology and sea level changes at southeastern brazilian continental shelf. ANAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, 68 (Supl. 1): 163-169.
- FURTADO, V.V. & MAHIQUES, M.M. de. 1990. Distribuição de sedimentos em regiões costeiras e plataforma continental norte do Estado de São Paulo. In: II SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: SÍNTESE DOS CONHECIMENTOS. Águas de Lindóia, Academia de Ciências do Estado de São Paulo. Publicação ACIESP 71-1: 20-29.
- GEOTÉCNICA S.A. 1968. Estudos geológicos-geotécnicos para o anteprojeto da Rodovia dos Imigrantes-variante Sorocabana. São Paulo, Relatório 260/68.
- GUTBERLET, J. 1996. Cubatão: Desenvolvimento, Exclusão Social e Degradação Ambiental. Tradução de Kay-Uwe Gutberlet. São Paulo, Edusp, 1996.
- HURTADO, S.N. 2003. Dinâmica de sedimentação atual associada à contaminação por metais nos sedimentos do Estuário Santista e do Canal de Bertioga, SP. Monografia de Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. 74p.
- HASUI, Y. & OLIVEIRA, M.A.F. 1984. Província Mantiqueira – setor central. In: O Precambriano do Brasil, 1º ed., São Paulo. Ed. E. Blucher, p.308-344.
- HASUI, Y & SADOWSKI, G.R. 1976. Evolução geológica do Precambriano na região sudeste do Estado de São Paulo, Ver. Brás. Geoc., 6:182-200.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS . IPT. 1981. Mapa geológico do estado de São Paulo. 2 volumes. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. Volume 1, 126p.
- I.O.USP 2002 (Rubens Cesar Lopes Figueira) Sedimentação holocênica na margem continental sudeste do Brasil e no estuário santista. Taxa de

sedimentação através de análise instrumental gama para o Pb-210, Cs-137 e Am-241. São Paulo, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2002 – Relatório Preliminar de Pós Doutorado (Inédito)

I.O.USP, 2004 I.O.USP 2002 (Rubens Cesar Lopes Figueira) Sedimentação holocênica na margem continental sudeste do Brasil e no estuário santista. Taxa de sedimentação através de análise instrumental gama para o Pb-210, Cs-137 e Am-241. São Paulo, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2002 – Relatório Final de Pós Doutorado (Inédito)

Li, Y. H.; SCHOONMAKER, J. E. Chemical composition and mineralogy of marine sediments. In: Treatise on Geochemistry. Vol. 7: Sediments, diagenesis and sedimentary. Elsevier Pergamon: New York, 2003.

LUIZ-SILVA, W.; MATOS, R.H.R.; KRISTOSCH,G.C.; MACHADO, W.2006 Variabilidade Espacial e Sazonal da Concentração de Elementos-Traço em Sedimentos do Sistema Estuarino de Santos-Cubatão (SP). Química Nova, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 256-263, mar/abr. 2006.

MACHADO, G.J. 1985 .Projeto geoquímica dos sedimentos superficiais da Margem continental brasileira. Relatório final. CPRM / CIRM. 6 volumes.

MARTINS, C. de C. 2005. Marcadores orgânicos geoquímicos em testemunhos de sedimento do Sistema Estuarino de Santos e São Vicente, SP: um registro histórico da introdução de hidrocarbonetos no ambiente marinho. Tese de doutorado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo,212p.

MASSAD, F. 1986. As argilas transicionais (pleistocênicas) do litoral paulista – características geotécnicas e propriedades de engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECANICA DE SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 8. Porto Alegre, RS. V.1, p 113 – 128.

MASSAD, F.1999. Implicações da história geológica no projeto de fundações. Revista Solos e Rochas – Conferência Pacheco Silva. V.22, 1999.

MESTRINHO, S. S. P. 1998. Estudo do comportamento geoquímico dos metais pesados nos sedimentos da região estuarina do Rio Paraguaçu - BA. São Paulo, 158p. (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo).

- MORAES, R. P. 1997. Transporte de chumbo e metais associados no Rio Ribeira de Iguape, São Paulo. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências
- PELLEGATTI, F. 2000. Determinação de metais pesados e outros elementos em sedimentos da baía de Sepetiba (RJ) por ativação neutrônica. São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2000 - Tese de Mestrado.
- QUINÁGLIA, G.A. 2006. Caracterização dos níveis basais de concentração de metais nos sedimentos do sistema estuarino da baixada Santista. Tese (Doutorado). Instituto de Química da USP. 239p.
- REQUENA, R.A. 2007. Análise estatística para avaliação ambiental da contaminação por metais na região da baía de Santos, SP. Dissertação de mestrado. Universidade Cruzeiro do Sul, UNICSUL, SP. 96p.
- RODRIGUES, M.; FURTADO, V.V.; TESSLER, M.G. & MAHIQUES, M.M. de. 2003. Atlas Sedimentológico da Plataforma Continental de São Paulo. Texto explicativo e mapas. São Paulo. Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas, FUNDESPA, 2003. V.1: 34p.
- SIQUEIRA, G.W. 2003. Estudo dos teores de metais pesados e outros elementos em sedimentos superficiais do sistema estuarino de Santos (Baixada Santista - São Paulo) e da plataforma continental do Amazonas (Margem continental Norte). Tese de Doutorado. IOUSP. 350p.
- SUGUIO, K. & MARTIN, L. 1978. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul-fluminense. In: International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary. Special Publication. São Paulo, Instituto de Geociências da USP - Sociedade Brasileira de Geologia. No. 1. p. 1-5.
- SOUZA, H. B.; DERISIO, J. C. 1977. Guia técnico de coleta de amostras de água. São Paulo : CETESB, 1977. p. 195-199.
- TESSLER, M.G. 1988. Dinâmica sedimentar quaternária no litoral paulista. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 276p.

TESSLER, M.G. 2001. Taxa de sedimentação holocênica na plataforma continental sul do estado de São Paulo. Dissertação de Livre Docência. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.2001.

TESSLER, M.G.; FIGUEIRA, R.C.L.; MAHIQUES, M.M.de.; FUKUMOTO, M.M.; CIAPINA, E. M.P. 2006 Sedimentation rates and contamination levels by heavy metals at the shallow sedimentary columns from Santos estuary and bay, SP, Brazil . Journal of Coastal Research, Special Issue, 39: 713-717. ICS 2004, Itajaí, SC. Brasil.

YASSUDA, E. A. 1991. Modelo numérico do transporte de sedimentos no canal principal do estuário de Santos. Dissertação de mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 121p.

ZEMBRUSKI, S.G. 1979. Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. In : CHAVES, H.A.F. (ed.) Geomorfologia da margem continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes (relatório final) . Série Projeto REMAC, n. 7 Rio de Janeiro, PETROBRÁS, CENPES, DINTEP. P. 129 – 177, 1979

ANEXOS

ANEXO 1

Tabela de dados de sedimentos marinhos da baía de Santos – SP

(continua)

Est.	Lat	Long	As (1)	Ba (1)	Co (1)	Sb (1)	Sc (1)	Cu (1)	Mn (1)	Ni (1)	Pb (1)	V (1)	Hg (1)	Zn (1)	Ti (2)	Fe (2)
1	- 24,00	- 46,31	20,80	200,00	15,00	0,50	12,00	26,79	873,04	21,92	38,18	80,31	0,13	99,52	0,47	4,16
2	- 23,99	- 46,32	5,80	320,00	4,00	0,10	2,50	6,21	202,20	2,76	12,41	15,49	0,02	35,76	0,16	1,19
3	- 23,99	- 46,33	5,80	340,00	5,00	0,20	2,90	6,77	268,51	3,16	14,41	18,59	0,01	35,18	0,27	1,29
4	- 23,98	- 46,34	10,10	480,00	8,00	0,50	5,30	12,21	400,26	7,34	19,69	34,86	0,05	55,30	0,30	2,25
5	- 23,98	- 46,34	11,30	650,00	4,00	0,10	3,40	6,44	270,93	3,45	18,11	21,60	0,01	41,21	0,15	2,07
6	- 23,98	- 46,35	10,80	560,00	6,00	0,10	3,10	5,87	196,57	3,72	14,49	20,04	0,01	36,41	0,12	2,00
7	- 23,98	- 46,36	8,20	420,00	4,00	0,20	2,60	5,70	187,56	3,07	15,08	17,39	0,01	32,33	0,11	1,76
8	- 23,98	- 46,35	9,60	420,00	5,00	0,10	2,90	7,63	187,05	3,31	11,80	17,76	0,01	31,98	0,15	1,81
9	- 23,98	- 46,34	7,00	420,00	5,00	0,20	3,00	5,95	226,59	3,36	10,09	17,10	0,01	33,67	0,14	1,76
10	- 23,98	- 46,33	4,80	280,00	5,00	0,10	2,80	5,71	189,15	3,29	11,21	15,49	0,01	26,89	0,19	1,13
11	- 23,99	- 46,32	4,90	330,00	6,00	0,20	3,50	10,05	298,58	8,41	16,40	21,97	0,08	35,73	0,21	1,38
12	- 24,00	- 46,32	3,90	350,00	6,00	0,20	3,00	38,10	314,11	5,18	16,27	18,62	0,08	37,41	0,22	1,11
13	- 23,99	- 46,34	10,20	420,00	8,00	0,60	7,40	18,66	667,29	18,75	32,77	65,61	0,07	80,40	0,40	2,74
14	- 23,99	- 46,34	11,00	370,00	8,00	0,40	6,50	14,08	719,76	11,40	24,23	48,74	0,12	63,31	0,31	2,56
15	- 23,99	- 46,35	6,70	510,00	5,00	0,20	3,20	6,26	196,45	4,54	10,74	19,35	0,01	32,46	0,16	1,64
16	- 23,98	- 46,37	8,30	320,00	4,00	0,40	2,30	7,18	168,24	1,65	7,07	15,38	0,00	23,95	0,15	1,42
17	- 23,99	- 46,37	9,20	380,00	4,00	0,40	2,10	4,96	193,06	2,92	11,22	15,43	0,01	25,18	0,09	1,43
18	- 23,99	- 46,36	10,30	510,00	9,00	0,50	5,80	16,81	569,90	10,97	22,56	42,45	0,07	57,03	0,24	2,42
19	- 23,99	- 46,35	9,50	440,00	8,00	0,50	5,40	9,56	372,26	8,88	20,89	32,54	0,05	47,60	0,23	2,20
20	- 24,00	- 46,34	9,00	460,00	5,00	0,30	3,40	6,12	198,98	3,03	12,42	18,71	0,01	31,16	0,15	1,70
21	- 24,00	- 46,32	7,30	510,00	6,00	0,10	4,20	8,03	286,79	5,66	16,07	25,73	0,02	38,33	0,19	1,95
22	- 24,01	- 46,33	5,60	470,00	6,00	0,40	3,20	8,05	207,06	2,66	9,08	16,65	0,01	29,16	0,15	1,63
23	- 24,00	- 46,34	5,00	400,00	4,00	0,30	3,20	8,19	181,09	2,39	11,70	16,65	0,01	39,28	0,14	1,39
24	- 24,00	- 46,35	9,70	600,00	7,00	0,40	6,50	14,91	454,04	10,63	23,04	41,40	0,13	65,64	0,30	2,20
25	- 24,00	- 46,36	11,00	700,00	12,00	0,40	10,20	18,29	776,43	17,04	31,96	62,82	0,12	82,66	0,39	3,34
26	- 23,99	- 46,37	8,50	400,00	4,00	0,10	2,60	7,40	168,29	2,93	7,50	16,49	0,01	29,18	0,12	1,46
27	- 23,99	- 46,37	9,20	420,00	4,00	0,10	2,60	8,15	171,56	2,13	6,23	16,43	0,00	28,21	0,11	1,52

(1) mg.kg⁻¹ (2) %

Tabela de dados de sedimentos marinhos da baía de Santos – SP

(continua)

Est.	Lat	Long	As (1)	Ba (1)	Co (1)	Sb (1)	Sc (1)	Cu (1)	Mn (1)	Ni (1)	Pb (1)	V (1)	Hg (1)	Zn (1)	Ti (2)	Fe (2)
28	-24,00	-46,36	12,90	200,00	10,00	0,10	9,90	17,41	650,94	15,20	26,73	58,54	0,27	75,44	0,39	3,56
29	-24,00	-46,35	12,70	150,00	11,00	0,10	9,90	20,24	728,87	18,14	32,71	67,65	0,12	78,44	0,39	3,25
30	-24,01	-46,34	11,20	660,00	6,00	0,50	6,30	11,76	546,10	12,50	21,85	43,75	0,03	54,23	0,28	2,27
31	-24,01	-46,32	5,00	450,00	5,00	0,10	3,30	6,87	223,37	2,38	14,91	18,80	0,01	30,46	0,20	1,68
32	-24,02	-46,33	4,40	430,00	4,00	0,30	3,30	6,56	187,38	2,10	12,60	17,20	0,01	30,00	0,16	1,57
33	-23,99	-46,31	20,80	200,00	15,00	0,50	12,00	26,79	873,04	21,92	38,18	32,08	0,02	45,46	0,24	2,18
34	-23,98	-46,32	5,80	320,00	4,00	0,10	2,50	6,21	202,20	2,76	12,41	34,71	0,04	46,63	0,23	2,31
35	-23,98	-46,32	5,80	340,00	5,00	0,20	2,90	6,77	268,51	3,16	14,41	80,12	0,12	91,88	0,44	4,10
36	-23,98	-46,33	10,10	480,00	8,00	0,50	5,30	12,21	400,26	7,34	19,69	22,62	0,01	30,94	0,13	1,67
37	-23,97	-46,34	11,30	650,00	4,00	0,10	3,40	6,44	270,93	3,45	18,11	19,55	0,01	28,14	0,11	1,72
38	-23,97	-46,35	10,80	560,00	6,00	0,10	3,10	5,87	196,57	3,72	14,49	81,36	0,14	85,08	0,44	4,16
39	-23,97	-46,36	8,20	420,00	4,00	0,20	2,60	5,70	187,56	3,07	15,08	33,77	0,04	48,89	0,22	2,39
40	-23,98	-46,35	9,60	420,00	5,00	0,10	2,90	7,63	187,05	3,31	11,80	20,89	0,01	31,33	0,15	1,75
41	-23,98	-46,34	7,00	420,00	5,00	0,20	3,00	5,95	226,59	3,36	10,09	44,94	0,06	51,63	0,27	2,97
42	-23,98	-46,33	4,80	280,00	5,00	0,10	2,80	5,71	189,15	3,29	11,21	14,04	0,01	24,10	0,12	1,64
43	-23,99	-46,32	4,90	330,00	6,00	0,20	3,50	10,05	298,58	8,41	16,40	22,27	0,02	35,49	0,16	2,05
44	-24,00	-46,32	3,90	350,00	6,00	0,20	3,00	38,10	314,11	5,18	16,27	14,87	0,01	28,20	0,12	1,91
45	-23,99	-46,33	10,20	420,00	8,00	0,60	7,40	18,66	667,29	18,75	32,77	27,53	0,07	37,28	0,22	3,15
46	-23,99	-46,34	11,00	370,00	8,00	0,40	6,50	14,08	719,76	11,40	24,23	6,14	0,01	12,98	0,06	1,36
47	-23,98	-46,35	6,70	510,00	5,00	0,20	3,20	6,26	196,45	4,54	10,74	6,04	0,01	20,81	0,05	1,61
48	-23,98	-46,36	8,30	320,00	4,00	0,40	2,30	7,18	168,24	1,65	7,07	7,07	0,03	17,49	0,04	2,35
49	-23,99	-46,37	9,20	380,00	4,00	0,40	2,10	4,96	193,06	2,92	11,22	6,55	0,04	15,39	0,04	2,39
50	-23,99	-46,36	10,30	510,00	9,00	0,50	5,80	16,81	569,90	10,97	22,56	4,62	0,03	14,05	0,04	1,66
51	-23,99	-46,35	9,50	440,00	8,00	0,50	5,40	9,56	372,26	8,88	20,89	2,42	0,01	13,49	0,02	1,45
52	-24,00	-46,34	9,00	460,00	5,00	0,30	3,40	6,12	198,98	3,03	12,42	2,50	0,01	9,31	0,03	1,42
53	-24,00	-46,33	7,30	510,00	6,00	0,10	4,20	8,03	286,79	5,66	16,07	0,10	0,01	9,41	0,02	1,40
54	-24,01	-46,33	5,60	470,00	6,00	0,40	3,20	8,05	207,06	2,66	9,08	0,10	0,01	11,68	0,01	1,50

 (1) mg.kg⁻¹ (2) %

Tabela de dados de sedimentos marinhos da baía de Santos - SP

Est.	Lat	Long	As (1)	Ba (1)	Co (1)	Sb (1)	Sc (1)	Cu (1)	Mn (1)	Ni (1)	Pb (1)	V (1)	Hg (1)	Zn (1)	Ti (2)	Fe (2)
55	- 24,00	- 46,34	5,00	400,00	4,00	0,30	3,20	8,19	181,09	2,39	11,70	0,10	0,01	12,04	0,02	1,47
56	- 24,00	- 46,35	9,70	600,00	7,00	0,40	6,50	14,91	454,04	10,63	23,04	2,79	0,02	15,96	0,10	1,77
57	- 24,00	- 46,36	11,00	700,00	12,00	0,40	10,20	18,29	776,43	17,04	31,96	0,10	0,01	14,53	0,10	1,56
58	- 24,00	- 46,35	8,50	400,00	4,00	0,10	2,60	7,40	168,29	2,93	7,50	38,36	0,03	58,28	0,23	2,02
59	- 24,00	- 46,37	5,90	560,00	7,00	0,10	3,40	6,79	196,80	1,82	9,78	18,59	0,01	35,99	0,15	1,69
60	- 24,00	- 46,36	12,90	200,00	10,00	0,10	9,90	17,41	650,94	15,20	26,73	52,63	0,03	63,27	0,31	2,57
61	- 24,00	- 46,35	12,70	150,00	11,00	0,10	9,90	20,24	728,87	18,14	32,71	91,92	0,08	93,13	0,47	3,94
62	- 24,01	- 46,34	11,20	660,00	6,00	0,50	6,30	11,76	546,10	12,50	21,85	46,75	0,04	55,08	0,26	1,95
63	- 24,01	- 46,33	5,00	450,00	5,00	0,10	3,30	6,87	223,37	2,38	14,91	55,32	0,05	64,93	0,31	2,61
64	- 24,02	- 46,33	4,40	430,00	4,00	0,30	3,30	6,56	187,38	2,10	12,60	24,31	0,01	36,71	0,15	1,75
65	- 24,03	- 46,35	7,80	440,00	6,00	0,10	7,50	9,29	321,05	9,20	19,26	47,33	0,05	55,89	0,27	2,58
66	- 24,03	- 46,36	7,50	390,00	6,00	0,10	3,00	21,86	73,19	0,10	0,10	0,10	0,02	237,89	0,10	1,51
67	- 24,03	- 46,37	6,60	360,00	4,00	0,10	2,60	29,24	54,22	0,10	0,10	0,10	0,01	274,22	0,10	1,52
68	- 24,03	- 46,39	8,60	400,00	4,00	0,10	2,60	4,24	289,22	3,75	12,34	22,29	0,00	26,13	0,14	1,57

(1) mg.kg⁻¹ (2) %

ANEXO 2

Bibliografia existente sobre metais na região do Estuário Santista

- ABESSA, D.M. de S. 1996. Testes de Toxicidade de Sedimentos da Região de Santos – SP – Brasil ($24^{\circ}\text{S}, 46^{\circ}\text{W}$), utilizando o anfípodo escavador *Tiburonella viscana* (Crustacea-Platyischnopidae) Thomas & Barnard (1983). Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 97p. Palavras chave: Alto Estuário, Estuários de Santos e São Vicente, Baía de Santos, Metais.
- ABESSA, D.M. de S. 2002. Avaliação da qualidade de sedimentos do sistema estuarino de Santos, SP, Brasil. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 1 vol. Palavras chave: Metais, Estuário Santista e São Vicente, Baía de Santos, Canal da Bertioga.
- ABESSA, D.M. de S. 2003. Qualidade de Sedimentos Marinhos e Estuarinos da Baixada Santista: Importância para o Gerenciamento Costeiro. Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais: 2003. Santos. Palavras chave: Alto Estuário, Estuários de Santos e São Vicente, Baía de Santos, Metais.
- AGUDO, E.G.; W. SANCHEZ; J. L. dos SANTOS. 1976. Estudos de difusão turbulenta na Costa do Guarujá, São Paulo, por meio de técnicas radioisotópicas. Publicação IEA 452. São Paulo, CETESB, 1976, 42p. Palavras chave: Dinâmica sedimentar.
- AGUIAR, V. M. C. 2005. Variação espacial e temporal das características biogeoquímicas do fósforo e do chumbo e transporte de propriedades no sistema estuarino de Santos / São Vicente e na porção Sul do complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (São Paulo). Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 243p. Palavras-chave: Fósforo, Chumbo, Estuários de Santos e São Vicente.

- ANTERON, G.; F. de O. RODRIGUEZ; M.H. ROQUETTI-HUMAYTA. Avaliação dos teores de metais pesados em três áreas de manguezais da Baixada Santista. Relatório Técnico. São Paulo, CETESB. Palavras chave: Metais, Estuários de Santos e São Vicente.
- APRILE, F. M.; G. W. SIQUEIRA; E. S. BRAGA. 2001. Mass balance of carbon dissolved and heavy metals in Santos Estuarine System - Brazil. IX Congresso Latino Americano sobre Ciência del Mar. Colômbia. p.315 (Cd-Rom). Palavras chave: Metais, Estuários de Santos e São Vicente.
- BARCELLOS, R. L.; V. V. FURTADO. 2002. Comparação dos ambientes sedimentares: Canal de São Sebastião e plataforma continental interna adjacente. Simpósio Brasileiro de Oceanografia, São Paulo, 2002. Palavras chave: Dinâmica sedimentar, Canal de São Sebastião, Plataforma continental.
- BERNARDES JR., C.; R. ZANIOLO Jr.; A.J. BARROTTI. 1979. Resíduos sólidos gerados no Porto de Santos. Relatório Técnico. São Paulo, CETESB, 1979. Palavras chave: Resíduos sólidos, Canal do Porto.
- BOLDRINI, C. V. 1990. Mercúrio na Baixada Santista. Seminário Nacional "Riscos e conseqüência do uso do mercúrio". Eds. S. Racon.; L. D. Lacerda.; W. C. Pfeiffer & D. Carvalho. Rio de Janeiro, p:161-195. Palavras chave: Mercúrio, Estuários de Santos e São Vicente.
- BOLDRINI, C.V.; D. NAVAS-PEREIRA. 1987. Metais pesados na Baía de Santos e estuários de Santos e São Vicente: bioacumulação. Ambiente (Revista CETESB de Tecnologia), v. 1 (3): 118-127, 1987. São Paulo. Palavras chave: Metais, Baía de Santos, Estuários de Santos e São Vicente, Contaminação de peixes.
- BONETTI, C. V. H. Foraminíferos como bioindicadores do gradiente de stresse ecológico em ambiente costeiros poluídos. Estudo aplicado ao sistema estuarino de Santos-São Vicente (SP/Brasil). 2000. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo, 229p. Palavras chave: Foraminíferos, Metais, Estuários de Santos e São Vicente.

- CETESB. 1978. Teores de metais pesados em organismos marinhos da plataforma continental. Relatório Técnico. São Paulo, CETESB/DAEE, 1978. 81p. Palavras chave: Metais, Organismos, Plataforma.
- CETESB. 1979. Metais pesados no estuário e Baía de Santos. 1979. Campanha 015419 - Relatório preliminar - 1. campanha 015420 - Relatório parcial-3. São Paulo, CETESB, 1979. 2v. Palavras chave: Metais, Baía de Santos, Estuários de Santos e São Vicente.
- CETESB. 1980. Caracterização física do porto e terminais de Santos. Relatório Técnico. São Paulo, CETESB, 1980. 120p. Palavras chave: Sedimentos, Canal do Porto.
- CETESB. 1981. Metais pesados na baía de Santos e estuários de Santos e São Vicente. Relatório Técnico. São Paulo, CETESB, 1981. 234p. Palavras chave: Metais, Baía de Santos, Estuários de Santos e São Vicente.
- CETESB. 1982. Bioacumulação de metais pesados em peixes da baía de Santos e estuários de Santos e São Vicente (São Paulo, Brasil). Relatório Técnico. São Paulo, CETESB, 1982. 39p. Palavras chave: Metais, Baía de Santos, Estuários de Santos e São Vicente.
- CETESB. 1986a. Ações integradas de avaliação da poluição no estuário e Baía de Santos. Relatório Técnico. São Paulo, CETESB, 1986. 20p. Palavras chave: Metais, Baía de Santos, Estuários de Santos e São Vicente.
- CETESB. 1986b. Avaliação da toxicidade das águas, sedimentos dos rios e efluentes industriais da região de Cubatão. Relatório Técnico. São Paulo, CETESB, 1986. 2v., 231p. Palavras chave: Metais, Baía de Santos, Estuários de Santos e São Vicente.
- CETESB. 1989. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Avaliação preliminar da contaminação por metais pesados na água, sedimento e organismos aquáticos do Rio Cubatão (SP). Relatório Técnico. São Paulo, CETESB, 1989. 28p. Palavras chave: Metais, Sedimento, Alto Estuário.
- CETESB. 1990. Contaminação na Bacia do Rio Cubatão e seus reflexos na biota aquática. Relatório Técnico. São Paulo, CETESB, 1990. 81p mais mapas e anexos. Palavras chave: Metais, Alto Estuário.

- CETESB. 1997. Levantamento de Preliminar do Grau de Contaminação de Amostras de Sedimento do Canal de Santos. Memorando n. 247/97/DA (anexo). Relatório Técnico. São Paulo, CETESB, 1997. 8p. Palavras chave: Metais, Sedimento, Canal do Porto.
- CETESB. 2001. Sistema Estuarino de Santos e São Vicente. Relatório Técnico. São Paulo, CETESB, 2001.177p. Palavras chave: Metais, Sedimento, Estuários de Santos e São Vicente, Alto Estuário, Baía de Santos, Plataforma.
- ESCOLA POLITÉCNICA. 1966. Estuário Santista: Pesquisa sobre o Assoreamento Verificado na Faixa Portuária para a Companhia Docas de Santos. Relatório Técnico. Laboratório de Hidráulica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1966. Palavras chave: Dinâmica sedimentar, Canal do Porto.
- ESTON, V. R. 1981. Recobrimento Primário de Substratos Artificiais Submersos no Estuário de Santos (São Paulo, Brasil). Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 116p. Palavras chave: Metais, Estuário de Santos.
- EYSINK, G.G.J.; M.C LAMPARELLI.; C. VARGAS-BOLDRINNI; M.C. MARTINS. Contaminants in the Cubatão Riverbasin and its Estuary (SP, Brazil), relating to the Aquatic Biota. Part 1. 1991. Heavy metals, arsenic and cyanide. 11th Biennial International Estuarine Research Conference. San Francisco. Session: Inputs and Cycling of Natural and Contaminant Materials in Estuaries. 1991. Palavras chave: Metais, Alto Estuário.
- FERRER, L. M; R. HYPOLITO. 2001. Mobilidade de mercúrio no manguezal de Cubatão/SP. VIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e I Simpósio de Geoquímica do Mercosul. Curitiba. Cd-Room. Palavras chave: Mercúrio, Alto Estuário.
- FIGUEIRA, R. C. L. 2003. Níveis de Pu-238 e Pu-239+240 em amostras de sedimento marinho da costa sul do Brasil. Revista Brasileira de Oceanografia, v. 51, p. 55-62. 2003. Palavras chave: Radionuclídeos, Plataforma.

- FIGUEIRA, R. C. L.; M. G. TESSLER; M. M. de MAHIQUES; M. M. FUKUMOTO; S. CAZZOLI Y GOYA. 2004. Sedimentação recente e níveis de metais pesados em testemunhos do Estuário Santista, SP - Brasil. IV Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais e Saúde, CBPAS 2004, Santos. Cd-Room. Palavras chave: Taxa de Sedimentação, Metais, Estuário de Santos.
- FUKUMOTO, M. M. 2003. Caracterização da sedimentação atual e reconstituição da história deposicional recente na Baía de Santos, a partir das características composicionais e isotópicas da matéria orgânica. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 109p. Palavras chave: Dinâmica sedimentar, Baía de Santos.
- FUKUMOTO, M. M. 2007. Determinação da história deposicional recente do Alto Estuário Santista, com base nos teores de metais e na suscetibilidade magnética dos sedimentos. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 123p. Palavras chave: Metais, Dinâmica sedimentar, Alto Estuário.
- FÚLFARO, V. J.; W. L. PONÇANO. 1976. Sedimentação atual do estuário e baía de santos: um modelo geológico aplicado a projetos de expansão da zona portuária. I Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia, v. 2, p.67 – 90. Palavras chave: Dinâmica sedimentar, Baía de Santos, Estuário de Santos.
- FÚLFARO, V.J.; C.S. REQUEJO; P.M.B. LANDIM; R. FÚLFARO. 1983. Distribuição de elementos metálicos nos sedimentos da Baía de Santos. 4^o Simpósio Regional de Geologia, SBG/SP, p. 275 – 289. Palavras chave: Metais, Baía de Santos.
- FURTADO, V.V.; M. RODRIGUES; M.M. de MAHIQUES. 1998. Características de Sedimentação na Baía de Santos. Simpósio de Divulgação da Habilitação em Oceanografia Física, 2 São Paulo: IOUSP/IFUSP, 1998. Palavras chave: Dinâmica sedimentar.

- FURTADO, V. V.; L.A. CONTI, R. L. BARCELLOS, M. RODRIGUES. 2002. Considerações sobre o processo sedimentar na plataforma continental de São Paulo: uma revisão do Projeto DEPROAS. Simpósio Brasileiro de Oceanografia, São Paulo, 2002. Palavras chave: Dinâmica sedimentar, Plataforma.
- HOSHIKA, A.; S. HIRATA; M.G. TESSLER; Y. MISHIMA; M.M. de MAHIQUES. 1996. Variações decadais nos teores de elementos metálicos nos sedimentos do estuário Santista. Simpósio sobre Oceanografia – IOUSP, 1996. Palavras chave: Metais, Canal de Bertioga, Taxa de sedimentação.
- HURTADO, S. N. 2003. Dinâmica de sedimentação atual associada à contaminação por metais nos sedimentos do Estuário Santista e do Canal de Bertioga, SP. Monografia de Trabalho de Formatura. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo. 74p. Palavras chave: Metais, Dinâmica sedimentar, Baía de Santos, Canal da Bertioga.
- HURTADO, S.N.; M.G. TESSLER. 2004. Distribuição da Contaminação por Metais nos Sedimentos de Superfície de Fundo no Canal da Bertioga, SP. Simpósio Brasileiro de Oceanografia, 2004. Palavras chave: Metais, Canal da Bertioga, Dinâmica sedimentar.
- INSTITUTO DE PESQUISAS HIDROVIÁRIAS. 1977. Comportamento Hidráulico e Sedimentológico do Estuário Santista: Relatório final. Empresa de Portos do Brasil, 1977. Palavras chave: Dinâmica sedimentar, Estuário de Santos.
- JURAS, A. A.; C.V. BOLDRINI; E.K. de RESENDE. 1980. Metais pesados no estuário e Baía de Santos. Relatório Técnico. São Paulo, CETESB, 1980. 183p. Palavras chave: Metais, Baía de Santos, Estuários de Santos e São Vicente.
- LUIZ-SILVA, W.; R.H.R. MATOS; G.C. KRISTOSCH; W. MACHADO. 2006. Variabilidade espacial e sazonal da concentração de elementos-traço em sedimentos do Sistema Estuarino de Santos-Cubatão (SP). Química Nova, São Paulo, v. 29 (2): 256-263. março/abril 2006. Palavras chave: Metais, Estuários de Santos e São Vicente.

- MARTINS, C. C. 2005. Marcadores orgânicos geoquímicos em testemunhos de sedimento do Sistema Estuarino de Santos e São Vicente, SP: um registro histórico da introdução de hidrocarbonetos no ambiente marinho. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 215p. Palavras chave: Dinâmica sedimentar.
- PEREIRA, D. N., 1980. Aspectos da poluição dos estuários por metais pesados. I Seminário de Poluição por Metais Pesados. Brasília. p:65-83. Palavras chave: Metais, Sedimentos, Estuários de Santos e São Vicente.
- PFEIFFER, W. C.; M. FISZMAN; L. D. LACERDA. 1988. Heavy metal surveys in brazilian coastal environments. Metals in Coastal Environments of Latin America. Eds. U. Selinger; L. D. Lacerda & S. R. Pachineelam. Springer Verlag, Berlin, 297p. Palavras chave: Metais, Estuários de Santos e São Vicente.
- PONÇANO, W. L. 1985. Sedimentação atual aplicada a portos no Brasil. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 278p. Palavras chave: Dinâmica sedimentar, Baía de Santos, Canal do Porto.
- PREGNOLATTO, W.; M. de TOLEDO; N. SANTESSO. 1979. Teor de mercúrio em águas da Baixada Santista/SP. Rev. Inst. Adolfo Lutz, p:5-15. Palavras chave: Metais, Água.
- PROSPERI, V. A.; G.G.J. EYSINK; L.M. SAITO. 1998. Avaliação do grau de contaminação do sedimento do longo do canal de navegação do Porto de Santos. São Paulo, BR, CETESB, 1998. 33p. Palavras chave: Contaminação, Sedimento, Canal do Porto.
- QUINOGLIA, G. A. 2006. Caracterização dos níveis de concentração de metais pesados nos sedimentos do sistema estuarino da Baixada Santista. Tese de Doutorado. Instituto de Química. Universidade de São Paulo. 2006. São Paulo. Palavras chave: Metais, Estuários de Santos e São Vicente,
- REQUENA, R. A. 2007. Análise estatística para avaliação ambiental da contaminação por metais na região da Baía de Santos-SP. Dissertação de Mestrado. Universidade Cruzeiro do Sul. São Paulo. 2007. Palavras chave: Baía de Santos, Metais, Estatística.

- ROCHA, A. C. 2003. Aplicação de Métodos Diretos e Indiretos na Análise da Dispersão de Sedimentos na Baía de Santos – SP. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 91p. Palavras chave: Dinâmica sedimentar, Baía de Santos.
- ROLIM, D.R.; G.W. SIQUEIRA; E.S. BRAGA. 2004. Distribuição granulométrica dos sedimentos superficiais da Baía de Santos: influência hidrodinâmica, antrópica e sazonal. Congresso Brasileiro de Oceanografia, 2004. Palavras chave: Dinâmica sedimentar, Baía de Santos.
- SILVA, C. C. do AMARAL, L. R. TOMMASI; C.V. BOLDRINI, D.N. PEREIRA. 1983. Níveis de mercúrio na Baixada Santista. Ciência e Cultura, v. 35 (6): 771-773. 1983. Palavras chave: Mercúrio, Estuários de Santos e São Vicente.
- SILVA, I.X.; R.P. MORAES; R.P. dos SANTOS; S.L. POMPEIA; S.E. MARTINS. 1991. Avaliação do estado de degradação dos ecossistemas da Baixada Santista. Relatório Técnico, São Paulo, CETESB, 45p. 1991. Palavras chave: Contaminação, Estuários de Santos e São Vicente.
- SILVA, P.S.C. da; B.P. MAZZILLI; D.I.T FAVARO. 2001. Estudo dos Elementos Terras Raras em Sedimentos dos Estuários de Santos e São Vicente. Congresso Brasileiro de Geoquímica. Curitiba. 2001. Palavras chave: Terras raras, Estuários de Santos e São Vicente.
- SILVA, V DA; R.C.L. FIGUEIRA; M.G. TESSLER. 2004. Comparação dos modelos CIC e CRS na determinação das taxas de sedimentação na plataforma continental do Estado de São Paulo. Simpósio Brasileiro de Oceanografia, São Paulo, 2004. Palavras chave: Taxa de sedimentação, Plataforma.
- SIQUEIRA, G. W.; E. S BRAGA. 2001. Estudo dos teores de Hg na fração fina do sedimento: uma visão ambiental com aplicação de normalizantes geoquímicos para as regiões estuarina de Santos/São Vicente e baía de Santos. 2001. VIII Congresso Brasileiro de Geoquímica e I Simpósio de Geoquímica do Mercosul. Curitiba. 2001. CD-ROOM. Palavras chave: Mercúrio, Sedimento, Estuários de Santos e São Vicente, Baía de Santos.

- SIQUEIRA, G. W.; G. M. F. DUCATTI & E. S. BRAGA. 2001. Avaliação de metais pesados (Pb, Cr, Cu, Fe) no sistema estuarino de Santos/São Vicente e Baía de Santos (São Paulo/Brasil). IX Congresso Latino Americano sobre Ciência del Mar. Colômbia, p:305 Cd-Room. Palavras chave:
- SIQUEIRA, G. W.; E.S. BRAGA. 2002. Distribuição sazonal e biodisponibilidade de metais pesados (Cu, Pb e Zn) nos sedimentos de fundo dos estuários de Santos/São Vicente e Baía de Santos- São Paulo/Brasil. Simpósio Brasileiro de Oceanografia 1: 2002. São Paulo. Palavras chave: Metais, Sedimento, Estuários de Santos e São Vicente, Baía de Santos.
- SIQUEIRA, G. W. 2003. Estudo dos teores de metais pesados e outros elementos em sedimentos superficiais do Sistema Estuarino de Santos (Baixada Santista/São Paulo) e Plataforma Continental do Amazonas (Margem Continental Norte do Brasil). Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 386p. Palavras chave: Metais, Sedimento, Estuários de Santos e São Vicente, Baía de Santos.
- SIQUEIRA, G. W. 2003. Estudo dos teores de metais pesados e outros elementos em sedimentos superficiais do Sistema Estuarino de Santos (Baixada Santista – São Paulo) e da Plataforma Continental do Amazonas (margem continental norte). Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 329p. Palavras chave: Metais, Estuário de Santos e São Vicente, Alto Estuário, Baía de Santos.
- SIQUEIRA, G. W., E. S. BRAGA; W.N. de LIMA; S.F.P. PEREIRA. 2004. Estudo granulométrico e de metais pesados (Pb, Zn e Cu) nos sedimentos de fundo do Sistema Estuarino de Santos/São Paulo-Brasil. IV Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais e Saúde, Santos. 2004. v. 1, p. 1-6. Palavras chave: Dinâmica sedimentar, Metais, Estuários de Santos e de São Vicente.
- SIQUEIRA, G. W.; V C F ROSA; V.V. FURTADO; E.S. BRAGA. 2004. Aspectos sedimentológicos do sistema estuarino de Santos, São Paulo – Brasil. Semana Nacional de Oceanografia, Itajaí, 2004. Palavras chave: Dinâmica sedimentar, Estuários de Santos e São Vicente.

- SIQUEIRA, G. W.; E.S. BRAGA; S.de F. P. PEREIRA; E. da SILVA. 2005. Distribuição do Mercúrio em Sedimentos de Fundo no Estuário de Santos, SP/Brasil – Revista Escola de Minas. (http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-4672005000400004). Palavras chave: Mercúrio, Sedimentos, Estuário de Santos.
- TESSLER, M. G.; R.C.L. FIGUEIRA; R.T. SAITO; I.I.L. CUNHA. 2001. Níveis de metais pesados (Pb, Cu e Zn) na plataforma continental e talude superior do Estado de São Paulo. Congresso Brasileiro de Geoquímica, Curitiba, 2001. Palavras chave: Metais, Plataforma, Razões isotópicas.
- TESSLER, M. G.; R.C.L. FIGUEIRA; M.M. de MAHIQUES; S. CAZZOLI Y GOYA; R.A. REQUENA. 2007. Teor de elementos metálicos nos sedimentos de superfície de fundo da plataforma continental contígua à região do Estuário santista. COLACMAR, 2007. Palavras chave: Metais, Plataforma.
- TOMMASI, L. R. 1978. Levantamento sobre sedimentos e fauna bentônica do estuário e Baía de Santos. São Paulo, BR, CETESB, 1978. 3v. Palavras chave: Metais, Baía de Santos, Estuários de Santos e São Vicente.
- TOMMASI, L. R. 1979. Considerações ecológicas sobre o Sistema Estuarino de Santos, Estado de São Paulo. Tese de Livre-Docência. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 489p. (2 vol.). Palavras chave: Sedimentos, Estuário de Santos, Metais.
- TOMMASI, L.R., 1982: Hydrology and pollution of beaches, bays and estuaries of Santos-São Vicente, São Paulo, Brazil. *Atlântica*. v. 5 (2): 120-121. Palavras chave: Metais, Baía de Santos, Estuários de Santos e São Vicente.
- TOMMASI, L. R. 1985. Poluição por mercúrio na água e sedimentos de fundo da baía e Estuário de Santos e de São Vicente (SP). *Ciência e Cultura*, v. 35 (6):.998-1001. 1985. Palavras chave: Mercúrio, Sedimento, Baía de Santos, Estuário de Santos.
- TONELLI, M. H. M.; M.G. TESSLER. 2005. Taxa de Sedimentação Atual no Canal da Bertioga por Espectrometria Gama. Simpósio Internacional de Iniciação Científica – 13° SIICUSP, 2005, Ribeirão Preto. Palavras chave: Taxa de sedimentação, Canal da Bertioga, Dinâmica sedimentar.

- YASUDA, E. A. 1991. Modelo numérico de transporte de sedimentos no canal principal do estuário de Santos. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 1991. Palavras chave: Canal do Porto, Dinâmica sedimentar.
- ZAGATTO, P. A.; E. BERTOLETTI; R.P. de A. ARAÚJO; E. GHERARDI-GOLDSTEIN. 1983. Avaliação da toxicidade das águas e sedimentos de alguns rios da região de Cubatão – SP. Relatório Técnico. São Paulo, CETESB, 1983. 10p. (também apresentado no 12 Congresso Bras. de Eng. Sanit. e Ambiental). Palavras chave: Contaminação, Alto Estuário.
- ZANINI, K. A.; R C L FIGUEIRA; M.G. TESSLER. 2004. Inventário de 137cs em sedimentos marinhos da plataforma continental do Estado de São Paulo. Simpósio Brasileiro de Oceanografia, São Paulo, 2004. Palavras chave: Radionuclídeos, Plataforma.
- ZARONI, L. P.; E. C. P. M. de SOUSA. 2006. Avaliação da qualidade dos sedimentos marinhos e estuarinos no município de Bertioga, SP. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico. Universidade de São Paulo. 193p. Palavras chave: Metais, Contaminação, Bertioga, Sedimento, Macro fauna.

