Samara Cazzoli y Goya

Taxa de sedimentação atual na plataforma continental centro
- norte do Embaiamento de São Paulo.

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da
Universidade de São Paulo, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Doutor em
Ciências, área de Oceanografia Química e
Geológica.

Orientador:

Prof. Dr. Moysés Gonzalez Tessler

São Paulo

2011

Universidade de São Paulo
Instituto Oceanográfico

Taxa de sedimentação atual na plataforma continental centro - norte do
Embaçamento de São Paulo

Samara Cazzoli y Goya

Tese apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, área de
Oceanografia Química e Geológica.

Julgada em ____/____/____

_____	_____
Prof. Dr.	Conceito
_____	_____
Prof. Dr.	Conceito
_____	_____
Prof. Dr.	Conceito
_____	_____
Prof. Dr.	Conceito
_____	_____
Prof. Dr.	Conceito

Sumário

Índice de Figuras	iv
Índice de Tabelas.....	ix
Índice de Equações.....	x
Epígrafe.....	xi
Dedicatória.....	xii
Agradecimentos.....	xiii
Resumo.....	xvi
Abstract.....	xvii
1. Introdução e Objetivos.....	1
2. Estado da Arte do Uso de ^{210}Pb e ^{137}Cs nos Estudos de Taxa de Sedimentação de Ambientes Costeiros e Oceânicos.....	5
3. Área de Estudo.....	20
3.1. Caracterização Meteorológica.....	21
3.2. Hidrodinâmica da plataforma continental	24
3.3. Fisiografia de fundo da Plataforma e Talude.....	30
3.4. Sedimentos de fundo	35
3.5. Metais contidos nos sedimentos de fundo	40
4. Material e Métodos	44
4.1. Campanha de amostragem	44
4.2. Análises Laboratoriais	46
4.2.1. Análise do conteúdo de carbonato biotritico	47
4.2.2. Análise granulométrica.....	47
4.2.3. Análise dos elementos metálicos	47
4.3. Análise dos radionuclídeos e obtenção da taxa de sedimentação	51

5. Resultados.....	57
5.1. Teor de Carbonato Biodetrítico e Granulometria.....	60
5.1.1 Compartimento Costeiro	60
5.1.2. Compartimento Isóbata de 100 metros - Porção Sul	63
5.1.3. Compartimento Isóbata de 100 metros - Porção Norte.....	66
5.1.4. Compartimento Isóbata de 500 metros	69
5.2. Teor de Metais	71
5.2.1. Compartimento Isóbata de 100 metros - Porção Sul	71
5.2.2. Compartimento Isóbata de 100 metros - Porção Norte.....	83
5.2.3. Compartimento Isóbata de 500 metros	91
5.3. Taxa de Sedimentação	94
5.3.1. Compartimento Costeiro	99
5.3.2. Compartimento Isóbata de 100 metros - Porção Sul	99
5.3.3. Compartimento Isóbata de 100 metros - Porção Norte.....	99
5.3.4. Compartimento Isóbata de 500 metros	100
6. Discussão	101
6.1. Compartimento Costeiro da Ilha de São Sebastião.....	106
6.2 Compartimento Isóbata de 100 metros	114
6.2.1 Compartimento Isóbata de 100 metros ao sul da Ilha de São Sebastião	114
6.2.2. Compartimento Isóbata de 100 metros ao norte da Ilha de São Sebastião	122
6.2.3. Comparação entre os compartimentos da isóbata de 100 metros ao norte e ao sul da Ilha de São Sebastião	126
6.3 Compartimento 500 metros.....	128
7. Conclusões.....	132

8. Referências Bibliográficas	136
9. Anexos.....	165

Índice de Figuras

Figura 1. Os três tipos de decaimento radioativo possíveis em um radionuclídeo. A partícula alfa é composta por 2 prótons e 2 neutrões. A partícula beta é composta por um elétron e a radiação gama (Fonte: Silva, 2009).....	6
Figura 2. Decaimento radioativo do ^{238}U . (Fonte: QMCWEB, 2001)	8
Figura 3. Ciclo do ^{210}Pb na natureza (Fonte: Mozeto, 2004).	9
Figura 4. Localização dos estudos feitos com ^{210}Pb para obtenção de taxas de sedimentação na costa brasileira	15
Figura 5. Localização da área de estudo, que envolve a plataforma continental e talude superior, entre as cidades de Santos (SP) e Cabo Frio (RJ).	20
Figura 6. Localização dos testemunhos estudados, coletados em projetos distintos: 6669, 6670, 6678, 6680, 6735, 6740 e 6746 (projeto REVIZEE), 7237 (projeto DEPROAS), 7353 e 7373 (projeto BUZIOS) e 7744 e 7745 (projeto ECOSAN).	21
Figura 7. Os sistemas de alta pressão ATAS (na região tropical) e APM (oriundo do pólo sul) regem toda a dinâmica meteorológica do Brasil. (Fonte: Rodrigues, 1996).	22
Figura 8. Imagem AVHRR da margem sudeste brasileira, mostrando a temperatura de superfície da água do mar. As cores azuis indicam águas mais frias e as de cores vermelhas indicam águas mais quentes, estas últimas associadas com a Corrente do Brasil. (Campos <i>et al.</i> , 1996 adaptado por Mahiques <i>et al.</i> , 2002). Vórtices e meandramentos da Corrente do Brasil também podem ser vistos nesta imagem....	27
Figura 9. Correntes existentes no Atlântico Sul, associadas ao Giro Subtropical (Silveira <i>et al.</i> , 2000).....	28
Figura 10. Embaiamento São Paulo (Butler, 1970), reentrância que abrange do Cabo Frio até o Cabo de Santa Marta (Fonte: Cooke <i>et al.</i> , 2007)	31
Figura 11. Declividade da plataforma continental diante de Santos, onde a inclinação não excede 1° . Fonte: Cooke <i>et al.</i> (2007).	32
Figura 12. Mapa granulométrico da plataforma continental adjacente ao estado de São Paulo. Fonte: Rodrigues <i>et al.</i> (2003).	39
Figura 13. Teores de metais encontrados na plataforma continental entre Paranaguá (PR) e Baía da Ilha Grande (RJ) (Machado, 1985).	40
Figura 14. Mapa da localização dos pontos de coletas, marcados pelo círculo vermelho, efetuados pela CETESB nos anos de 1997 e 1999 (Fonte: CETESB, 2001).	42

Figura 15. Box-Corer fechado e já aberto, com sedimento coletado. Fotos: Samara Cazzoli y Goya.	45
Figura 16. Tubos de PVC cravados em sedimentos coletados pelo box-corer. Foto: Samara Cazzoli y Goya.	45
Figura 17. Área de estudo subdividida nos seguintes compartimentos: Costeiro (marcado pelo círculo amarelo), Profundo (marcado pelo retângulo azul) e Isóbata de 100 metros, que foi subdividido em duas porções: sul da Ilha de São Sebastião (marcado pelo retângulo verde) e norte da Ilha de São Sebastião (marcado pelo polígono vermelho).	57
Figura 18. Compartimento Costeiro, que engloba os testemunhos 7237 e 7353. Ambos estão situados nas proximidades da Ilha de São Sebastião, próximos da isóbata de 40 metros.	58
Figuras 19 A, B. Compartimento Isóbata de 100 metros. Este compartimento foi subdividido em duas partes, situadas respectivamente ao sul (Figura 19A, acima) e ao norte da Ilha de São Sebastião (Figura 19B, abaixo). O testemunho 6669 representa a transição entre as duas partes.	59
Figura 20. Terceiro Compartimento, que congrega os dois testemunhos situados a aproximadamente 500 metros de profundidade e serão usados como ponto controle ou de background.	60
Figura 21. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 7237.	61
Figura 22. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 7353.	61
Figura 23. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para a fração arenosa do testemunho 7237.	63
Figura 24. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para a fração arenosa do testemunho 7353.	63
Figura 25. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 7744.	64
Figura 26. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 7745.	64
Figura 27. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 6678.	65
Figura 28. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 6669.	65
Figura 29. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 6735.	67
Figura 30. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 6740.	67
Figura 31. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 6746.	68

Figura 32. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 7373.....	68
Figura 33. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 6670.....	70
Figura 34. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 6680.....	70
Figura 35. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 7744 (valores normalizados com o teor de lama).....	72
Figura 36. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 7744.....	72
Figura 37. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 7744.....	73
Figura 38. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 7744.....	73
Figura 39. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 7745 (valores normalizados com o teor de lama).....	74
Figura 40. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 7745.....	75
Figura 41. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 7745.....	75
Figura 42. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 7745.....	76
Figura 43. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 6678 (valores normalizados com o teor de lama).....	77
Figura 44. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 6678.....	77
Figura 45. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 6678.....	78
Figura 46. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 6678.....	78
Figura 47. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 6669 (valores normalizados com o teor de lama).....	79
Figura 48. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 6669.....	80

Figura 49. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 6669.....	80
Figura 50. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 6669.....	81
Figura 51. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 6735 (valores normalizados com o teor de lama).....	83
Figura 52. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 6735.....	83
Figura 53. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 6735.....	84
Figura 54. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 6735.....	84
Figura 55. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 6740 (valores normalizados com o teor de lama).....	85
Figura 56. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 6740.....	86
Figura 57. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb (com pico máximo) no testemunho 6740.....	86
Figura 58. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 6740.....	87
Figura 59. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 6740.....	87
Figura 60. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 6746 (valores normalizados com o teor de lama).....	88
Figura 61. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 6746.....	89
Figura 62. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 6746.....	89
Figura 63. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 6746.....	90
Figura 64. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 6680 (valores normalizados com o teor de lama).....	92

Figura 65. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 6680.....	92
Figura 66. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 6680.....	93
Figura 67. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 6680.....	93
Figura 68. Cópia da tela do software Maestro (fabricado pela ORTEC) mostrando em detalhe um pico de Európio 154, onde a área em azul clara rodeado pela forma ovalada em vermelho é a área G e a porção em verde escuro é a área N (ORTEC, 2010).	95
Figura 69. Diagrama da relação $\text{Ln } ^{210}\text{Pb}-^{226}\text{Ra}$ (eixo y) e a profundidade em centímetros (eixo x) para a estação 6740.....	98
Figura 70. Localização dos testemunhos estudados em relação à Taxa de sedimentação pelos métodos ^{210}Pb e ^{14}C	104
Figuras 71 A, B, C – Estudo numérico das correntes superficiais ao longo da Ilha de São Sebastião durante a Primavera, o Verão e o Inverno (Silva <i>et al.</i> , 2004). As velocidades marcadas são as máximas obtidas no estudo no período.	108
Figura 72. Estudo numérico das correntes superficiais ao longo da Ilha de São Sebastião durante o Outono (Silva <i>et al.</i> , 2004). As velocidades marcadas são as máximas obtidas no estudo no período.	109
Figura 73. Praia de Castelhanos (situada em enseada homônima), na Ilha de São Sebastião, após a passagem de um sistema frontal de forte intensidade. Os detritos vegetais vistos tanto na calha do rio como na praia são oriundos das drenagens locais, que deslocaram também bastante material sedimentar (Foto: Barcellos, 2000).	111
Figura 74. Medições de Hidrocarbonetos Aromáticos (PAHs) efetuadas na superfície de fundo atual da plataforma continental durante o projeto ECOSAN. O testemunho 7745 corresponde ao testemunho numerado como #12 e o testemunho 7744 corresponde ao de número #21. Os demais testemunhos (#7 e #9) que apresentaram concentrações mais altas de PAHs estão situados junto à costa, em proximidades das áreas antiga e atual de descarte da dragagem do canal do Porto de Santos. (Fonte: Bicego <i>et al.</i> , 2007).	116
Figura 75. Exemplo no Estado do Paraná, em que a direção e velocidade dos ventos em duas condições atmosféricas distintas, mostrando que os poluentes e seu material particulado podem atingir o Oceano Atlântico, sendo uma fonte atual de contaminantes (Fonte: Caviglione <i>et al.</i> , 2000).	124

Índice de Tabelas

Tabela 1. Resumo do comportamento geoquímico e aplicações dos principais radionuclídeos utilizados no estudo de processos costeiros (Santos <i>et al.</i> , 2008).....	5
Tabela 2. Relação de trabalhos efetuados com o uso de ^{210}Pb e ^{137}Cs para determinação da taxa de sedimentação na costa brasileira.	15
Tabela 3. Principais características da plataforma continental interna no Embaíamento São Paulo (Mahiques <i>et al.</i> , 2010).	31
Tabela 4. Amostras de superfície com valores de metais na plataforma continental entre Paranaguá (PR) e Santos (SP) (Tessler, 2001).	41
Tabela 5. Dados medidos pela CETESB na região da Baixada Santista e os valores de referência utilizados pela mesma a fim de verificar a existência de contaminação.	42
Tabela 6. Comprimentos de onda utilizados e limites de quantificação do método (<i>apud</i> Fukumoto, 2007).	49
Tabela 7. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 7744.	74
Tabela 8. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 7745.	76
Tabela 9. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 6678.	79
Tabela 10. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 6669.	81
Tabela 11. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 6735.	85
Tabela 12. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 6740.	88
Tabela 13. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 6746.	90
Tabela 14. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 6680.	94
Tabela 15. Valores de ^{210}Pb N e ^{137}Cs G existentes na superfície de fundo atual. ...	96
Tabela 16. Taxas de sedimentação dos testemunhos estudados segundo os	

radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs	98
--	----

Tabela 17. Taxas de sedimentação obtidas por radiocarbono e ^{210}Pb – ^{137}Cs no Embaiamento São Paulo.....	102
---	-----

Índice de Equações

Equação 1	Modelo CIC (Appleby e Oldfield, 1978).....	11
Equação 2	Modelo CRS (Appleby e Oldfield, 1978).....	11
Equação 3	Fator de Auto-Ansorção (Cutshall <i>et al.</i> , 1983).....	13
Equação 4	Fator de enriquecimento (Szefer <i>et al.</i> , 1998 <i>apud</i> Fukumoto, 2007).	50
Equação 5	Regressão Linear Simples	51
Equação 6	Cálculo da atividade do ^{210}Pb	53
Equação 7	Cálculo da atividade do ^{226}Ra	54
Equação 8	Cálculo da taxa de sedimentação pelo método CIC	55
Equação 9	Cálculo da atividade do ^{137}Cs	56

“A ciência é a tentativa de compreender a realidade. É uma atividade quase religiosa,
na mais ampla acepção da palavra.” (George Wald)

*Este trabalho é dedicado à Laura Kamê Cazzoli y Goya, esta
pessoa linda que me ensinou as mais belas lições deste mundo.*

Tenho certeza que muitas mais virão. Amo você filha!

Agradecimentos

Completar mais uma etapa da minha formação acadêmica dentro do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (I.O.USP) é uma grande satisfação para mim pois esta é minha casa desde 1993. Por isso, meu primeiro agradecimento é para o próprio I.O.USP, seus docentes, funcionários e alunos, por terem me ensinado tantas lições dos mais variados níveis.

Ao Prof. Dr. Moysés Gonzalez Tessler, ao qual é muito difícil dizer com um só agradecimento, toda a ajuda, amizade, apoio e orientação na confecção desta tese e também no dia a dia como técnica do I.O.USP. Eu adoraria ter, como no japonês, aquele Muito Obrigada que só é usado em ocasiões especiais. Como não tenho, Muito, Muito, Muito, Muito Obrigada por tudo.

Ao Prof. Dr. Rubens César Lopes Figueira, por praticamente ter sido um co-orientador deste trabalho, por toda a sua ajuda e paciência no ensino das técnicas de laboratório referentes à espectrometria gama e ainda por toda a sua ajuda na discussão de resultados e pelas sugestões feitas na qualificação.

Ao Prof. Dr. Valdenir Veronese Furtado, por todas as lições ensinadas como professor e como ser humano. Obrigada também pelas várias idéias para esta tese e por sua leitura crítica. Me permitindo o uso da expressão: “Você é o cara”.

Ao Prof. Dr. Michel M. de Mahiques pelas várias oportunidades de embarque e participação nos projetos, pela permissão de uso de alguns testemunhos nesta tese e ainda por várias dicas e sugestões apresentadas na qualificação e após a mesma. Apreendi muito com você ao longo destes anos.

À Profa. Dra. Sílvia Helena de Melo e Sousa, por toda a sua ajuda ao longo destes anos e em especial pelo auxílio na identificação biológica e descrição da fração carbonática das amostras utilizadas neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Elvis Joacir de França, da UFPE, que chegou no I.O.USP somente em 2010 mas que me ensinou muito sobre técnicas de espectrometria gama, laboratório e sobre como fazer ciência. Muito obrigada, você foi fundamental.

Aos Chefes do DOF, *Prof. Dr. Belmiro Mendes de Castro Filho e Profa. Dra. Rosalinda Carmela Montone*, pela autorização para a realização do doutorado.

Aos demais docentes do DOF, em especial aos professores *Beatriz Beck Eichler, Eduardo Siegle, Ilson Carlos Almeida da Silveira e Márcia Bícego*, por sua ajuda em vários momentos no desenrolar deste trabalho.

Ao *Prof. Dr. Pere Masqués* e ao *Físico Joan Manuel Bruach*, da Universitat Autònoma de Barcelona, pela oportunidade de acompanhar os projetos ali desenvolvidos e ainda pela permissão em estagiar no laboratório de radionuclídeos. A experiência adquirida ali e a calorosa acolhida ficarão sempre na memória. (*El Prof Dr Pere Masqués i el Físico Joan Manuel Bruach, de la Universitat Autònoma de Barcelona, per l'oportunitat de supervisar els projectes desenvolupats i fins i tot hi ha el permís per entrenar al laboratori de radionúclids. Gaudiu de la càlida benvinguda i sempre hi haurà a la memòria – Ojalá no esté tan malo mi catalán*).

Ao *Prof. Dr. João Manuel Alveirinho Dias*, da Universidade do Algarve, pelas várias lições de oceanografia, geologia, geografia, gestão costeira e, sobretudo da história de Portugal. A sua leitura crítica e sugestões foram maravilhosas, fazendo sempre as perguntas certas. Me sinto muito honrada em ser considerada como sua aluna.

Ao *Prof. Dr. Paulo César Giannini*, do IGc/USP, por suas observações pertinentes no período em que foi o relator pela pós graduação do I.O.USP deste trabalho.

Aos companheiros de Oceanografia Geológica: *Marilena de Oliveira (Mãe), Marcelo Rodrigues, Edílson de Oliveira Faria e Clodoaldo Vieira Tolentino* e mais recentemente *Alexandre Barbosa Salaroli*. Sem vocês aqui, o dia a dia seria com certeza muito mais triste. Ainda ao *Marcelo Rodrigues* pela enorme ajuda pela confecção de vários mapas. Obrigada de coração.

Aos alunos de Pós-Graduação do DOF, em especial: *Adriana Rodrigues Perreti, Alessandro Farinaccio, Ana Amélia de Oliveira Lavenère Wanderley, Ana Carolina da Rocha, André Rosch Rodrigues, Carlos Alberto Sampaio Araújo, Carlos Eduardo Rogacheski, Daniel Andreas Klein, Janaína Moslavacz de Camargo, João Carlos Cattini Maluf, Kátia Jaworski, Letícia Burone, Luis Américo Conti, Luiz Antônio Pereira da*

Souza (LAPS), Mainara da Rocha Karniol, Marcelo Pisetta, Marina Midori Fukumoto, Mario Luiz Mascagni, Raquel Fernanda Passos, Renato Olindo Ghiselli Júnior, Roberto Lima Barcellos, Savio Luis Carmona, Shanty Navarro Hurtado e Teresa Lima Díaz. Apreendi e Aprendo com vocês todos os dias.

Às alunas da Graduação do I.O.USP *Alynne Almeida Affonso e Juliana Damasceno*, as quais venho acompanhando o trabalho e vendo dia a dia o amadurecimento da sua formação científica.

Às meninas fantásticas da secretaria do DOF: *Eliete Almeida de Oliveira Maciel e Angélica de Jesus Miguel*, por todos os galhos quebrados sempre.

Às meninas da Secretaria de Pós Graduação: *Ana Paula Dourado Evangelista e Silvana Correia de L. Reginaldo*, pela ajuda de sempre.

Ao *peçoal da biblioteca do I.O.USP* por toda a dedicação e auxílio que fazem o diferencial desta biblioteca.

Aos amigos, que de certa forma, me acompanharam ao longo deste trabalho, pois são há muito tempo companheiros de vida: *Adriana Saldanha, Alexandre Schiavetti, André Martins Vaz, Carlos Eduardo Chicaroni, Helena Costa, Jorge Aguilar, Leonice Ofélia de Barros Chicaroni, Lígia Simão, Maria Rita Barros Leite de Moraes, Mary Ignez Farah e Rosana Okida.* Amo vocês!

Aos sempre saudosos *Amaro Carneiro e Marilza Correia.*

Ao *Coral do I.O.USP e seus irmãos da Biologia e Veterinária (USP)* pelos divertidos ensaios e suas emocionantes apresentações.

Ao *Milton Roberto y Goya*, por toda a paciência, amor e companheirismo ao longo dos últimos 13 anos. Sem você, nada teria saído.

Aos meus pais, *Gilberto Attílio Cazzoli e Dinorah Vicente Cazzoli*, por tudo...sempre.

E a todos, que de maneira direta ou indireta contribuíram ou mesmo torceram pelo êxito deste trabalho, Muito Obrigada!

Resumo

Este trabalho tem como objetivo a obtenção das taxas de sedimentação da plataforma continental e do talude superior, no trecho centro norte do Embaiamento São Paulo (Santos a Cabo Frio), além da verificação do uso do método $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$, comparados a métodos mais tradicionais como o ^{14}C , para a obtenção destas taxas de sedimentação. Um segundo objetivo é verificar se ocorre a transferência de metais, provenientes da área costeira contígua, para o oceano aberto. Para a realização deste trabalho, foram coletados, em diferentes projetos de pesquisa, 12 testemunhos que foram analisados em função da granulometria e dos teores de CaCO_3 e metais (Pb, Cu e Zn). Estes mesmos testemunhos foram submetidos, também, a análise da espectrometria gama para obtenção dos níveis de atividade de ^{210}Pb e ^{137}Cs . A partir da medição destes níveis, após alguns cálculos matemáticos baseados no modelo CIC, puderam ser obtidas as taxas de sedimentação. Os resultados indicaram colunas sedimentares bastante homogêneas, predominantemente siliciclásticas. As taxas de sedimentação obtidas, na ordem de milímetros/ano, são compatíveis com os dados encontrados em outras partes do litoral brasileiro e do mundo, onde o aporte atual de sedimentos não é significativo. Com base nestes dados, pode-se afirmar que o método $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ é bastante confiável para a obtenção de taxas de sedimentação e identificação dos processos sedimentares atuantes nas áreas costeiras e de plataforma, respeitando-se como limite a isóbata de 100 metros. Em profundidades maiores que esta, a técnica não se mostra um “*proxy*” confiável, pois os dados obtidos foram muito conflitantes, sendo mais recomendado o uso do ^{14}C . Os metais provenientes da zona costeira, aparentemente, não estão alcançando a plataforma continental, mas em alguns pontos isolados, já se nota um aumento em especial do Pb, não atingindo entretanto, os níveis de alerta da resolução CONAMA 344/04.

Palavras-Chave: Embaiamento São Paulo, Plataforma Continental, $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$, Taxa de Sedimentação, Metais (Pb, Cu, Zn).

Abstract

The objective of the present work is the obtainment of the sedimentation rates of the continental shelf and the upper slope on the central north area from São Paulo Bight (from Santos to Cabo Frio), besides checking the use of the $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ method when compared to more traditional methods like ^{14}C for obtainment of this sedimentation rates. The second objective is the checking if there is a metal transference deriving from the adjacent coastal area to the open ocean. In this work a total of 12 cores were collected from different research projects and they were analyzed considering the granulometry and CaCO_3 and metals (Pb, Cu and Zn) contents. These same samples were also analyzed through gamma spectrometry for obtainment of the activity levels of ^{210}Pb and ^{137}Cs . The sedimentation rates were obtained after mathematical computing based on CIC model. The results indicated rather homogeneous sedimentary columns, predominantly siliciclastics. The obtained sedimentation rates, in a millimeters/year basis, are consistent to the data found in other areas of the Brazilian Coastal and the World Coastal where the actual deposit of sediments is not significant. Based on this data it is possible to state that $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ method is a really reliable method for obtainment of sedimentation rates and identification of the sedimentary processes occurring on the coastal and shelf areas, respecting 100 meters isobath as the limit. The technique is not a reliable proxy when considering deeper areas as there was much conflict on the resultant data and in this cases, the best recommendation is the use of ^{14}C method. Apparently, the metals deriving from the coastal zone are not reaching the continental shelf, but the growth of Pb can be noticed on some isolated spots although they not reach the warning levels from CONAMA 344/04 resolution

Keywords: São Paulo Bight, Continental Shelf, $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$, Sedimentation Rate, Metals (Pb, Cu, Zn).

1. Introdução e Objetivos

Desde o princípio da humanidade, o ambiente marinho gera sensações muito intensas como temor e admiração. Ao longo da nossa história, o mar continuou exercendo um papel principal, possibilitando descobertas de novas terras e culturas. No caso do Brasil, a relação com o mar se originou já na “descoberta”, sendo que até o século XIX, a maior parte da colonização foi feita em regiões mais abrigadas do litoral, que ofereciam boas condições portuárias. Este padrão de colonização se reflete até hoje na ocupação litorânea, com grande concentração populacional em cidades que estão a menos de 200 quilômetros da orla marítima.

Mesmo com todo este histórico em relação ao ambiente marinho, muito pouca informação existia sobre ele. Os poucos trabalhos existentes na literatura acadêmica brasileira até a década de 60 do século XX foram realizados na região costeira, por motivos de infraestrutura.

O estabelecimento da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM) pela ONU, durante a histórica Convenção de Genebra, em 1958, embora criada para atender, em especial, a regulamentação da pesca, estabelecia direitos jurídicos e econômicos sobre a região submersa adjacente aos países e estabelecia que pelo direito de uso destas regiões, trabalhos de reconhecimento fossem executados.

Durante a década de 70, mais especificamente entre 1972 e 1978, foram efetuados os trabalhos de campo do Projeto REMAC (Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira), uma parceria entre Petrobrás, CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e universidades de todo o país. A região levantada abrangeu as isóbatas entre 40 e 180 metros e ainda parte do talude e sopé, atingindo profundidades de até 3.000 metros, sendo este o primeiro grande trabalho com cunho geológico feito na margem continental brasileira. Com toda a informação levantada neste estudo, o Brasil assinou a CNDUM em 1982 e a ratificou em 1988.

O projeto REVIZEE (Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva) foi também realizado com o objetivo de ampliar e refinar as informações levantadas, especialmente sobre a região da plataforma continental, agora já no contexto científico. Neste contexto, a plataforma continental é uma área de transição entre os ambientes marinho – continental – atmosférico, que apresenta relevo suave e larguras variáveis, sendo que estes dois parâmetros dependem ainda da herança geológica do local. No caso da plataforma continental brasileira, em sua porção sudeste, a largura máxima alcança a isóbata de 180 metros.

Atualmente, em termos geológicos, muitos estudos já foram feitos na plataforma continental sudeste (Corrêa, 1978; Zembruscki, 1979; Rodrigues *et al.*, 2003), mas a grande maioria deles está restrita à descrição dos sedimentos atuais que recobrem o fundo marinho. Mahiques *et al.* (1999; 2002, 2004) iniciaram uma interpretação com uma visão multi “proxies” na plataforma. A cobertura sedimentar da plataforma sul/sudeste é constituída em grande parte pelo material proveniente dos continentes, não necessariamente atuais.

O trecho costeiro situado entre Santos (SP) e Rio de Janeiro (RJ) possui quatro portos de grande porte (Santos – SP, São Sebastião – SP, Sepetiba - RJ e Rio de Janeiro - RJ), um pólo petroquímico (Cubatão - SP), várias indústrias de base e navais, diversos tipos de marinas e atracadouros, duas usinas termoeletricas (Angra dos Reis – RJ), emissários submarinos que trazem esgotos previamente tratados em pelo menos quatro municípios (Santos – São Vicente, Guarujá, Ilhabela e Rio de Janeiro), a segunda maior megalópole do país (municípios da Baixada Fluminense formando a “Grande Rio de Janeiro” – RJ) e municípios menores, que devido ao turismo, quadruplicam sua população durante os meses de verão.

Este rol de atividades humanas na região costeira alterou sensivelmente a quantidade de sedimentos e demais detritos carregados do continente para a área marinha, embora não existam estudos prévios, que possam quantificar este fato. A questão é que todos os resíduos, de origem natural ou humana, originários destes municípios litorâneos acabam por chegar ao litoral e ao ingressar no ambiente

marinho, em geral os sedimentos mais finos são parcialmente transportados por correntes oceânicas até a plataforma continental.

A lacuna de levantamentos sistemáticos de parâmetros hidrodinâmicos da costa brasileira tem dificultado o estabelecimento, tanto de modelos de circulação litorânea como de plataforma, e do conhecimento acerca das tendências atuais de movimentação, remobilização e aporte de detritos de origem terrígena e marinha, na plataforma continental sudeste do Brasil.

Um passo para diminuir esta lacuna é o levantamento de informações fundamentais como a quantificação da taxa de sedimentação atual e se existe um aumento da exportação de contaminantes não orgânicos (mais especificamente metais) das áreas costeiras para a plataforma continental.

Uma das ferramentas mais utilizadas para a obtenção destes dados é o uso de elementos radioativos (radioisótopos ou radionuclídeos) e de quantificação da concentração de metais nos depósitos sedimentares da plataforma continental e talude superior.

Os elementos radioativos, descobertos em 1896, são atualmente uma ferramenta de extrema utilidade, cada vez mais utilizada em vários ramos do conhecimento científico como traçadores ou “marcadores” de eventos ocorridos no passado. A Oceanografia, em especial, vem fazendo uso de estudos acerca dos mais diversos radionuclídeos com o objetivo de estudar diferentes processos oceânicos, destacando-se justamente a datação e a obtenção de taxas de sedimentação de depósitos marinhos.

Um dos radionuclídeos mais conhecidos para estudos do Quaternário é o ^{14}C , que tem meia vida de 5730 anos e é amplamente utilizado, por exemplo, para reconstituições paleoambientais. Mas no caso deste estudo, cujo interesse remonta a alterações efetuadas no máximo ao longo do último século, onde a maior parte das alterações antropogênicas foi introduzida, o ^{14}C não é o radioisótopo mais preciso. Existem outros radionuclídeos que apresentam meias vidas menores, como, por exemplo, o ^{210}Pb e do ^{137}Cs .

Estudos realizados com a utilização de indicadores geoquímicos, de traçadores radioativos e taxas de sedimentação baseados em radionuclídeos naturais, em especial o ^{210}Pb , têm sido considerados como importantes auxiliares na compreensão da dinâmica de aporte e dispersão de elementos provenientes de diversas fontes para os ambientes marinhos (Masqué, 1999; Tessler, 2001; Saito, 2002).

Já os metais vêm sendo bastante utilizados, a partir da década de 60, como marcadores da entrada de sedimentos continentais e poluentes no meio marinho (Joaunneau *et al.*, 1998; Bay *et al.*, 2003; Elberling *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2004).

O objetivo principal deste trabalho é centrado na obtenção das taxas de sedimentação do período atual (últimos 100 anos) em sedimentos areno - lamosos da plataforma continental e talude continental superior do centro-norte do Estado de São Paulo e centro-sul do Estado do Rio de Janeiro, a fim de aprimorar e correlacionar o conhecimento sobre a dinâmica dos processos de aporte sedimentar com a ação da dinâmica marinha atual.

Como objetivos específicos deste estudo, destacam-se:

- Avaliar o uso da técnica de obtenção de taxas de sedimentação com o uso dos radionuclídeos $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ como “*proxy*” para o entendimento dos processos de sedimentação em ambientes costeiros e oceânicos em relação à técnicas de radionuclídeos mais tradicionais, mais especificamente ^{14}C , amplamente utilizado em estudos do Quaternário;
- Estimar as variações dos níveis de emissão relacionadas aos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs , visando aprimorar o conhecimento e a viabilidade do uso desta técnica na estimativa de idade dos sedimentos.
- Verificar as variações espaço-temporais, relativas aos elementos metálicos (Pb, Cu e Zn) ao longo da coluna sedimentar, para a identificação de oscilações do aporte continental relacionadas à atividade humana.

2. Estado da Arte do Uso de ^{210}Pb e ^{137}Cs nos Estudos de Taxa de Sedimentação de Ambientes Costeiros e Oceânicos

Suguio (1999) afirma que desde o final do século XIX, devido à percepção de que os métodos relativos de datação não resultavam em dados de boa qualidade para alguns tipos de estudos, os pesquisadores vêm procurando métodos de datação absoluta, que permitam trabalhar com um testemunho quantitativamente.

Os radionuclídeos se mostraram a maneira mais acurada para obtenção da idade absoluta, uma vez que a meia-vida destes elementos é conhecida e pode ser mensurada. Os radionuclídeos podem ser classificados dentro de quatro grupos, de acordo com suas origens: 1) produzidos por raios cósmicos (^7Be e ^{14}C); 2) produzidos artificialmente, através de detonações atômicas (^{137}Cs e ^{90}Sr); 3) isótopos primordiais (^{238}U e ^{40}K); e 4) produtos de decaimento natural a partir dos isótopos primordiais (^{226}Ra , ^{222}Rn e ^{210}Pb). (Santos *et al.*, 2008)

Atualmente existem mais de 40 radionuclídeos testados e utilizados como métodos de datação absoluta. Santos *et al.* (2008) apresenta, na Tabela 1, um resumo do comportamento geoquímico e de aplicações dos principais radionuclídeos utilizados em ambientes costeiros e oceânicos.

Tabela 1. Resumo do comportamento geoquímico e aplicações dos principais radionuclídeos utilizados no estudo de processos costeiros (Santos *et al.*, 2008).

Radionuclídeo (Meia-Vida)	Comportamento Geoquímico	Principais Aplicações
^{210}Pb (22,3 anos)	Insolúvel, pode penetrar na coluna sedimentar por bioturbação	Taxas de sedimentação (~120 anos) e Taxas de mistura de sedimentos.
^{137}Cs (30 anos)	Insolúvel. Pode ser dissolvido somente quando há cátions dissolvidos em condições redutoras.	Checagem de taxas de sedimentação oriundas de ^{210}Pb .
^7Be (53 dias)	Produzido na atmosfera e pode penetrar na coluna sedimentar por bioturbação.	Taxas de sedimentação (~1 ano) e Taxas de mistura de sedimentos.
^{234}Th (24 dias)	Altamente insolúvel, penetrando	Taxas de sedimentação

	rapidamente na coluna sedimentar por bioturbação.	(~5 meses) e Taxas de retrabalhamento de sedimentos.
^{14}C (5.730 anos)	Produzido na atmosfera e incorporado aos organismos vivos.	Geocronologia (~14.000 anos) e Trocas gasosas na interface atmosfera – água.
^{226}Ra (1.600 anos)	Conservativo e solúvel, pode se desligar do sedimento em águas salobras e salgadas.	Taxas de descarga de águas subterrâneas no oceano, idade de massas d'água e processos de mistura entre estas.
^{228}Ra (5,7 dias)		
^{223}Ra (11,4 dias)		
^{224}Ra (3,7 dias)		
^{222}Rn (3,83 dias)	Volátil, conservativo e solúvel.	Taxas de descarga de águas subterrâneas no oceano, Difusão na interface ar – sedimento e Trocas gasosas na interface atmosfera – água.

O primeiro trabalho utilizando o ^{210}Pb como traçador de deposição de sedimentos foi realizado por Goldberg (1963) que correlacionou o ^{210}Pb com taxa de sedimentação, usando para isso a medição da emissão de partículas beta (Figura 1).

Figura 1. Os três tipos de decaimento radioativo possíveis em um radionuclídeo. A partícula alfa é composta por 2 prótons e 2 neutrões. A partícula beta é composta por um elétron e a radiação gama (Fonte: Silva, 2009).

Este autor se baseou em trabalhos anteriores que descreviam o comportamento de alguns radionuclídeos em água naturais (Koide e Goldberg, 1961; Koczy, 1958) e em sedimentos (Goldberg e Koide, 1962) e também na meia-vida do ^{210}Pb (Eckelmann *et al.*, 1960). A conclusão deste trabalho pioneiro foi a indicação de que o ^{210}Pb é um excelente marcador de taxas de sedimentação, para sedimentos com idades inferiores a 250 anos, com maior aplicabilidade para sedimentos com idades entre 5 e 100 anos. Este autor desenvolveu ainda um método de cálculo de taxa de sedimentação (CFCS), baseado em ambientes tranquilos e não misturados, com sedimentação e fluxo de ^{210}Pb atmosférico constantes por todo o período de formação do corpo sedimentar.

A determinação da taxa de sedimentação pelo ^{210}Pb elaborada por Goldberg (1963) é baseada no princípio do decaimento radioativo do elemento ^{238}U (Figura 2). Os radionuclídeos da série de decaimento do ^{238}U são elementos radioativos naturais e se encontram disseminados no ambiente em quantidades traços. O ^{226}Ra ($t_{1/2} = 1622$ anos), um elemento intermediário da série, presente na crosta terrestre, decai para ^{222}Rn ($t_{1/2} = 3,8$ dias) que, por ser um gás, pode deslocar-se do local de geração na rocha, ou solo, para a atmosfera numa taxa média de $42 \text{ átomos} \cdot \text{min} \cdot \text{cm}^{-2}$. O ^{222}Rn , após sucessivos decaimentos de elementos de meias-vidas curtas, decai para o ^{210}Pb .

O ^{210}Pb ($t_{1/2} = 22,3$ anos) decai por emissão de partículas beta ($E_{\beta} = 17 \text{ keV}$) e raios gama ($E_{\gamma} = 47 \text{ keV}$) para ^{210}Bi ($t_{1/2} = 5,01$ dias, $E_{\beta} = 1,16 \text{ MeV}$), que origina o ^{210}Po ($t_{1/2} = 138,4$ dias, $E_{\alpha} = 5,31 \text{ MeV}$) e que, finalmente, gera o elemento estável ^{206}Pb .

Figura 2. Decaimento radioativo do ^{238}U . (Fonte: QMCWEB, 2001)

O tempo de residência do ^{210}Pb na atmosfera foi calculado entre 9,5 dias a algumas semanas (Francis, 1970 *in* Bernat e Church, 1989). Este elemento retorna para a superfície terrestre por deposição seca ou úmida (por meio da chuva ou neve).

O ^{210}Pb tem uma residência muito curta no oceano, menor que um ano em águas rasas (Koide *et al.*, 1972; Bruland *et al.*, 1974; Benninger *et al.*, 1975). O processo pelo qual o ^{210}Pb é incorporado ao sedimento não é totalmente conhecido sendo que entre os mecanismos de remoção existem as seguintes sugestões: escavação pelos organismos, adsorção por particulados (argilas, matéria orgânica) e co-precipitação com óxido Fe-Mn (Rama *et al.*, 1961; Shannon *et al.*, 1970; Craig *et al.*, 1973; Leland *et al.*, 1973; Nozaki e Tsunogai, 1973; Nozaki *et al.*, 1973; Krishnaswami *et al.*, 1975; Bacon *et al.*, 1976; Kharkar *et al.*, 1976; Nozaki e Tsunogai, 1976; Nozaki *et al.*, 1976; Somayajulu e Craig, 1976; Thomson e Turekian, 1976).

Uma vez incorporado ao sedimento, o ^{210}Pb é considerado imóvel quimicamente e se mantém até o seu decaimento para ^{210}Bi , sendo a meia-vida do ^{210}Pb de 22,3 anos (Hohndorf, 1969 *apud* Noller, 2000).

O ^{210}Pb originado desta forma é considerado como ^{210}Pb não suportado (Goldberg, 1963), e sua atividade tende a diminuir com a profundidade em uma coluna de sedimento.

O ^{210}Pb suportado é aquele originado pelo decaimento do particulado ^{226}Ra e de seu elemento “filho” ^{222}Rn *in situ*, ou seja, aqueles que estão contidos dentro das camadas sedimentares ou rochosas (Goldberg, 1963), sem que tenham sido deslocados para uma fase gasosa livre na atmosfera. O ciclo do ^{210}Pb na natureza está ilustrado na Figura 3.

Figura 3. Ciclo do ^{210}Pb na natureza (Fonte: Mozeto, 2004).

A diferença entre a atividade do ^{210}Pb não suportado e do ^{210}Pb suportado é que permite o cálculo das taxas de sedimentação. A atividade pode ser afetada pela variação na granulometria (Nittrouer *et al.*, 1979; Kuehl *et al.*, 1989), teor de carbono orgânico (Jones e Jordan, 1979; Davis, 1984; Moore e Dymon, 1988), e pequenos escorregamentos ou outros processos de gravidade (Sanford *et al.*, 1990). Estas variações podem limitar o uso do ^{210}Pb como geocronômetro.

Até a década de 50 do século XX, não existia ^{137}Cs na atmosfera. A partir dos testes de armas nucleares americanos em Nevada e nas ilhas Marshall, o ^{137}Cs e outros radionuclídeos artificiais ($^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am) foram gerados e iniciaram sua deposição em sedimentos por todo o globo, atingindo o ápice da concentração no biênio 1963/1964 devido ao grande número de testes de armas nucleares feitos na atmosfera, por vários países, em pontos distintos do globo terrestre, em especial no hemisfério norte. No hemisfério sul, os maiores testes foram efetuados pela França no Atol de Mururoa (Pacífico), entre 1964 e 1996. (Pennington *et al.*, 1973; Appleby *et al.*, 1991; UNSCEAR, 2000; Arnauld *et al.*, 2006). Na década de 60, vários tratados de destruição destes tipos de armamentos foram assinados e, consequentemente, a concentração deste e de outros radionuclídeos artificiais ($^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am) diminuiu na atmosfera e nos sedimentos.

Na década de 70, foram realizados os primeiros trabalhos sobre taxas de sedimentação em sequências sedimentares recentes em sistemas fluviais e marinhos (Krishnaswami *et al.*, 1971 e Koide *et al.*, 1972, 1973). Estes primeiros trabalhos ressaltavam a necessidade de confirmar a taxa de sedimentação obtida pelo método do ^{210}Pb com outros marcadores fossem estes outros radionuclídeos, ou estudos de polens, ou ainda marcadores estratigráficos bem conhecidos.

Robbins e Edgington (1975) estudaram a taxa de sedimentação do lago Michigan (Estados Unidos), utilizando o ^{137}Cs como marcador cronoestratigráfico, considerando o pico máximo de concentração deste radionuclídeo os anos de 1963/1964.

Estudos de contaminação por metais, associados a taxas de sedimentação obtidas com o método do ^{210}Pb , começaram também a ser desenvolvidos neste período (Bruland *et al.*, 1974; Edgington e Robbins, 1976; Goldberg *et al.*, 1976; Matsumoto e Wong, 1977; Bertine, 1978; Christensen *et al.*, 1978).

No ano de 1978 houve duas publicações de destaque: Appleby e Oldfield (1978) e Robbins (1978). Ambos os trabalhos fizeram um grande levantamento sobre o estado da arte do que fora feito até então na temática de taxa de sedimentação através da aplicação da técnica do ^{210}Pb , e se concentraram

especialmente no tratamento dos dados coletados nos sedimentos, afirmando que o modelo CFCS não atendia a todas as localidades estudadas. Os dois trabalhos propuseram, com nomes distintos, dois outros modelos para cálculo da taxa de sedimentação cuja funcionalidade era bem maior.

O primeiro modelo, que é uma derivação do CFCS, foi denominado Concentração Inicial Constante (*Constant Initial Concentration Model* – CIC – Appleby e Oldfield, 1978) ou Atividade Específica Constante (CIA - Robbins, 1978). Este modelo parte das seguintes premissas, descritas sucintamente em Nollan (2000): (1) a concentração (ou atividade) inicial do ^{210}Pb não suportado é constante e (2) a taxa de sedimentação não é constante. Este modelo é mais raramente usado na literatura (McCall *et al.*, 1984; Appleby e Oldfield, 1992; Walling e He, 1992).

A fórmula utilizada neste método é:

$$T = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \left(\frac{C_o}{C_x} \right) \quad \text{Equação 1}$$

Onde

λ é o decaimento constante do ^{210}Pb ,

C_o é a concentração inicial total do ^{210}Pb não suportado e

C_x é a concentração do ^{210}Pb não suportado em uma camada de sedimentos situada a uma profundidade x .

O segundo modelo apresentado foi o de Sedimentação Constante (*Constant Rate of Supply Model* – CRS - Appleby e Oldfield, 1978) ou Fluxo Constante (Robbins, 1978). O modelo CRS se baseia nas seguintes premissas (Noller, 2000): (1) o suprimento do ^{210}Pb não suportado para os sedimentos é constante ao longo do tempo, (2) a concentração inicial de ^{210}Pb no sedimento é variável e (3) o aporte de sedimentos é variável. Appleby e Oldfield (1978) desenvolveram este método baseado na seguinte fórmula:

$$t = \frac{1}{\lambda} \cdot \log \left(\frac{A_0}{A_x} \right) \quad \text{Equação 2}$$

Onde

λ é o decaimento constante do ^{210}Pb ,

A_0 é a atividade total do ^{210}Pb não suportado e

A_x é a atividade do ^{210}Pb não suportado em uma camada de sedimentos situada a uma profundidade x .

A partir da melhoria e consolidação dos modelos de tratamento dos dados de ^{210}Pb estabelecidas nos trabalhos de Appleby e Oldfield (1978) e Robbins (1978), o método de determinação de taxas de sedimentação a partir de radionuclídeos com meia vida curta passou a ser amplamente utilizado ao longo do mundo. O ^{137}Cs começou também a ser mais utilizado, em ambientes como manguezais, lagos e estuários para determinação da taxa de sedimentação (DeLaune *et al.*, 1978; Ashley e Moritz, 1979; Aston e Stanners, 1979; Benninger *et al.* 1979).

Nittrouer *et al.* (1979) questionaram o uso do ^{210}Pb como ferramenta geocronológica, apontando as seguintes limitações para o método:

- 1) Existência de uma estratigrafia complexa, ou seja, mudanças na granulometria ao longo do testemunho ou presença de muitas laminações ou lentes.
- 2) Camada de mistura muito larga. O comprimento do testemunho coletado pode não ser suficiente para chegar aos valores de fundo (*background*).
- 3) Baixa Taxa de Sedimentação: Em áreas com taxas de sedimentação menores que 0,1cm/ano, a atividade do radionuclídeo pode ser muito limitada à porção superior do testemunho coletado. Áreas com baixa taxa de sedimentação e alta taxa de mistura requerem ainda maior cuidado para o uso do método.
- 4) Baixa Atividade Inicial: Não existir muita diferença entre o que se é medido como atividade do ^{210}Pb não suportado e o valor de *background*. Isso acontece muito em granulometrias mais grossas (relictos) ou depósitos palimpsestos.

Estas limitações são consideradas válidas até hoje, sendo infelizmente pouco aplicadas nas décadas posteriores.

Durante as décadas de 80 e 90, o método de determinação de taxa de sedimentação recente através de radionuclídeos (em especial ^{210}Pb e ^{137}Cs) foi bastante difundido.

O trabalho metodológico mais significativo deste período foi o de Cutshall *et al.* (1983), que inseriu o conceito de auto absorção da radiação nas amostras de sedimentos. Auto absorção é a porcentagem da emissão radioativa que é absorvida dentro da própria amostra, o que ocorre especialmente nos radionuclídeos com energias mais baixas. A fórmula que faz a correção deste fator para que o resultado da atividade dos radionuclídeos seja correta é:

$$F = \frac{\ln\left(\frac{A}{N}\right)}{\left(\frac{A}{N}\right) - 1} \quad \text{Equação 3}$$

Onde

F é o fator de auto absorção,

A é o número de contagens do ^{241}Am com a amostra (cps – contagem por segundo) e

N é o número de contagens do ^{241}Am sem a amostra (cps).

Por fim, ao longo da primeira década do século XXI houve uma maior preocupação com a acurácia na obtenção das constantes de decaimento (Beggemann *et al.*, 2001) e das eficiências (Baas *et al.*, 2001). Os trabalhos continuam profícuos por todo o mundo, mas ganharam caráter mais aplicado, como por exemplo, no estudo da sedimentação causada por furacões, com o uso de radionuclídeos de meia vida reduzida, como o ^7Be (Allinson *et al.*, 2005).

Talvez o ponto mais interessante do atual estágio de conhecimentos seja uma série de questionamentos feitos em relação à profusão de publicações que se utilizam somente do ^{210}Pb para obtenção da taxa de sedimentação dos estratos.

O artigo de Smith (2001) é talvez o mais representativo entre os artigos de questionamentos desta década. O autor atesta que poucos trabalhos contém a

contra prova da taxa de sedimentação fornecida por outros radionuclídeos que não o ^{210}Pb , mostrando que este método estava sendo usado sem o devido cuidado. Para este autor, os periódicos internacionais deveriam aceitar trabalhos com ^{210}Pb usando uma única simples premissa: “A geocronologia feita com base em ^{210}Pb deve ser validada usando pelo menos um traçador independente que resulte em uma inquestionável idade do horizonte estratigráfico. Se a validação for ainda assim inconclusiva, então um modelo mais apropriado de sedimentação deve ser formulado e aplicado à interpretação dos resultados.” A maioria dos trabalhos posteriores ao artigo de Smith (2001) apresentaram outras ferramentas para confirmação dos dados obtidos pelo ^{210}Pb .

O método de obtenção de taxas de sedimentação por radionuclídeos naturais e/ou artificiais é considerado muito bem desenvolvido, inequívoco em situações de aporte de sedimentos e de fluxo de isótopos constantes e sem processos de misturas de camadas sedimentares. A ordem de grandeza das taxas de sedimentação, nas baías e plataformas em todo o mundo, é de milímetros/ano e no talude/ bacia oceânica, esta ordem de grandeza cai para décimos a centésimos de milímetros por ano. Áreas com significativo aporte continental como o delta do Mississipi (Oktay *et al.*, 2000 e Allinson *et al.*, 2000) e a foz do rio Yangtzé (Chung e Chang, 1995; Lim *et al.*, 2007) apresentam uma ordem de centímetros/ano, sendo consideradas extremamente altas.

A precisão dos resultados obtidos é uma conjugação de diferentes fatores que englobam, desde a garantia da estabilidade do radionuclídeo junto à matriz ao qual foi incorporado em seu processo de sedimentação, até a precisão do detector utilizado no procedimento de contagem das partículas alfa/ beta/ gama. O interessante é notar, que mesmo com ajustes posteriores, as técnicas básicas, os modelos e os pressupostos usados até hoje são praticamente os mesmos que os propostos por Goldberg (1963).

Para a costa brasileira, a situação é bastante distinta, com trabalhos efetuados em pontos localizados do litoral e sem caráter sistemático (Figura 4 e Tabela 2).

Figura 4. Localização dos estudos feitos com ^{210}Pb para obtenção de taxas de sedimentação na costa brasileira

Tabela 2. Relação de trabalhos efetuados com o uso de ^{210}Pb e ^{137}Cs para determinação da taxa de sedimentação na costa brasileira.

Autor(es) e Ano	Local	Taxa de Sedimentação
Martins <i>et al.</i> (1989)	Lagoa dos Patos (RS)	0,35 a 0,83 cm/ano (^{210}Pb)
Kuehl <i>et al.</i> (1982, 1986a, 1986b, 1989), Dukat e Kuehl (1985) e Nittroeur e DeMaster (1996)	Delta submerso do Rio Amazonas e Plataforma continental adjacente	Quatro perfis encontrados: 1) acúmulo moderado (1cm/ano), 2) acúmulo rápido (10cm/ano), 3) ^{210}Pb variável (com $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ – 10 a 60 cm/ano) e 4) sem ^{210}Pb não suportado.
Wilken <i>et al.</i> (1986)	Baía da Guanabara (RJ)	>0,20cm/ano (^{210}Pb)
Bragança (1992)	Baía da Guanabara (RJ)	2 cm/ano (^{210}Pb)
Fernandes <i>et al.</i> (1993)	Lagoa de Jacarepaguá	0,4 a 2,2 cm/ano (^{210}Pb)

	(RJ)	
Forte (1996 <i>apud</i> Molisani <i>et al.</i> , 2004)	Baía de Sepetiba (RJ)	0,2 a 0,8 (^{210}Pb)
Hoshika <i>et al.</i> (1996)	Canal da Bertioga (SP)	1,7cm/ano (^{210}Pb)
Patchineelam e Smoak (1997, 1999) e Smoak e Patchineelam (1999)	Laguna de Guarapina (RJ)	Camada de mistura de 11 cm, não identificada através de ^{210}Pb .
Patchineelam e Smoak (1997, 1999) e Smoak e Patchineelam (1999)	Mangues da Baía de Sepetiba (RJ)	0,12 a 0,18cm/ano (^{210}Pb , ^{234}Th e ^7Be)
Patchineelam e Smoak (1997, 1999) e Smoak e Patchineelam (1999)	Foz dos rios Pardo, Doce, Jequitinhonha – Belmonte e Barra do Riacho (BA e ES)	0,25cm/ano (Rio Pardo), 0,42cm/ano (Belmonte) e 0,17cm/ano (Barra do Riacho). No Rio Doce, perfis de ^{210}Pb muito homogêneos.
Godoy <i>et al.</i> (1998)	Baía da Guanabara (RJ)	1 a 2 cm/ano (^{210}Pb)
Borges (1998 <i>apud</i> Catanzaro, 2002)	Baía da Ilha Grande (RJ)	0,37 a 2,4 cm/ano (^{210}Pb)
Toldo <i>et al.</i> (2000)	Lagoa dos Patos	0,3 a 0,9 cm/ano (^{210}Pb)
Argollo (2001)	Baía de Todos os Santos (BA)	0,29 a 1 cm/ano (^{210}Pb)
Saito <i>et al.</i> (2001a,b)	Sistema Cananéia-Iguape (SP)	0,53 a 0,98 cm/ano (^{210}Pb e ^{137}Cs)
Souza <i>et al.</i> (2001)	Baía de Paranaguá (PR)	0,12cm/ano (^{210}Pb)
Tessler (2001)	Plataforma continental entre Paranaguá (PR) e Santos (SP)	Plataforma Interna: 0,18 a 0,40 cm/ano; Plataforma Externa e Talude Superior: $0,01 \pm 0,04$ a 0,26

		$\pm 0,05$ cm/ano (^{210}Pb)
Andrade (2002)	Enseada da Fortaleza (SP)	0,125 cm/ano (^{210}Pb)
Figueira <i>et al.</i> (2003)	Baía de Santos e Canal do Porto (SP)	0,27 cm/ano (parte central da baía) e 0,12 cm/ano (canal) (^{137}Cs)
Hurtado (2003)	Canal da Bertioga (SP)	0,23 a 0,57 cm/ano (^{210}Pb)
Figueira <i>et al.</i> (2004)	Estuário Santista (SP)	Ilha Barnabé – 0,40cm/ano, Casqueiro - 0,54cm/ano (^{210}Pb)
Oliveira <i>et al.</i> (2004)	Baía da Guanabara (RJ)	0,6 a 1 cm/ano (^{210}Pb)
Oliveira <i>et al.</i> (2004)	Lagoa da Guarapina (RJ)	0,3 a 1,1 cm/ano (^{210}Pb)
Oliveira <i>et al.</i> (2004)	Baía de Sepetiba (RJ)	0,4 a 1,1 cm/ano (^{210}Pb)
Tessler <i>et al.</i> (2004)	Baía de Santos (SP)	0,12cm/ano (^{210}Pb)
Martins (2005)	Estuário Santista (SP)	$1,86 \pm 0,20$ cm/ano (CaCO_3)
Marques Jr. <i>et al.</i> (2006)	Mangues da Baía de Sepetiba (RJ)	Base a 16,5cm: 0,07cm/ano; 16,5cm ao topo: 0,13cm/ano
Sanders <i>et al.</i> (2006)	Baía de Guaratuba (PR)	0,61cm/ano (^{210}Pb) e 0,52cm/ano (^{137}Cs)
Fukumoto (2007)	Estuário Santista (SP)	$1,50 \pm 0,14$ cm/ano (^{137}Cs)

O primeiro trabalho de determinação de taxa de sedimentação, ainda com o uso de espectrometria alfa para a determinação do ^{210}Pb , foi feito por Martins *et al.* (1989) na Lagoa dos Patos (RS), onde encontraram taxas que variaram entre 0,35 e 0,83 cm/ano.

Kuehl *et al.* (1982, 1986a, 1986b, 1989), Dukat e Kuehl (1985) e Nittroeur e DeMaster (1996) estudaram as taxas de sedimentação no delta submerso do Rio

Amazonas e na plataforma continental adjacente. Estes autores concluíram que o ^{210}Pb não é a ferramenta ideal para o estudo desta região devido à existência de 4 tipos de perfis de distribuição vertical de ^{210}Pb : 1) Um perfil de acúmulo moderado (aproximadamente 1cm/ano) que exhibe tipicamente uma zona de ^{210}Pb constante seguida por uma zona de decaimento exponencial que é seguida, novamente, por uma zona de ^{210}Pb constante; 2) um perfil de acúmulo rápido (aproximadamente 10cm/ano) mostrando um decaimento lento do ^{210}Pb em relação à profundidade; 3) um perfil com atividade de ^{210}Pb variável ao longo do comprimento do testemunho e 4) não presença de ^{210}Pb não suportado. Áreas que apresentam perfil com atividade conforme o tipo 3 são as regiões mais difíceis para determinação de taxas de sedimentação através do método do ^{210}Pb . Apesar desta dificuldade, estes autores determinaram, com o auxílio da razão entre $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$, que as taxas de sedimentação mais comuns nesta região variam entre 10 a 60cm/ano.

Patchineelam e Smoak (1997, 1999) e Smoak e Patchineelam (1999) trabalharam com as atividades de três radionuclídeos (^{210}Pb , ^{234}Th e ^7Be) em quatro box-corers, cada qual localizado em uma das desembocaduras dos rios de maior porte do litoral leste brasileiro (Pardo, Doce, Jequitinhonha – Belmonte e Barra do Riacho). As taxas de acumulação de sedimentos de 0,25cm/ano (Rio Pardo), 0,42cm/ano (Belmonte) e 0,17cm/ano (Barra do Riacho). Os perfis de ^{210}Pb na foz do Rio Doce apresentaram-se muito homogêneos, impedindo o cálculo da taxa de sedimentação. O ^7Be não foi detectado nestes testemunhos.

A primeira década do século XXI trouxe uma maior utilização dos radionuclídeos, em especial do ^{210}Pb e do ^{137}Cs , para obtenção das taxas de sedimentação recente ao longo do litoral brasileiro, em ambientes estuarinos e costeiros de todo o país (Argollo; 2001; Saito *et al.*, 2001a; Saito *et al.*, 2001b; Souza *et al.*, 2001; Andrade, 2002; Figueira *et al.*, 2003; Hurtado, 2003; Figueira *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2004; Tessler *et al.*, 2004; Martins, 2005; Marques Jr, 2006; Sanders *et al.*, 2006; Fukumoto, 2007).

Tessler (2001) fez um levantamento da taxa de sedimentação holocênica na plataforma continental interna do Estado de São Paulo, utilizando o ^{210}Pb como

traçador, tendo sido também determinados os metais Pb, Cu e Zn ao longo da coluna sedimentar com o objetivo de verificar a importância do aporte continental nas sequências sedimentares depositadas na plataforma continental. As taxas de sedimentação encontradas na plataforma interna variaram entre 0,18 a 0,40 cm/ano, compatíveis com aquelas existentes para plataformas sem aporte atual significativo de sedimentos atuais em outras regiões do mundo. Para a plataforma externa e o talude superior foram calculados valores de taxa de sedimentação de 0,0101 ($\pm$ 0,04) a 0,26 ($\pm$ 0,05) cm/ano.

Apesar deste incremento na quantidade de trabalhos efetuados com ^{210}Pb ainda existem muitas lacunas a serem preenchidas no litoral brasileiro, incluindo aí a validação dos resultados obtidos com outros radionuclídeos (como ^{137}Cs) ou mesmo estudos palinológicos ou estratigráficos.

3. Área de Estudo

A área de estudo abrange a plataforma continental e a porção superior do talude continental nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, entre as latitudes $22^{\circ}30'$ e 24° S e as longitudes 42° e $46^{\circ}30'$ W.

A área estende-se desde a isóbata de 40 metros (início aproximado da plataforma média) até a porção superior do talude continental (aproximadamente 500 metros).

As figuras 5 e 6 apresentam a localização da área de estudo e a distribuição das amostras usadas neste trabalho.

Figura 5. Localização da área de estudo, que envolve a plataforma continental e talude superior, entre as cidades de Santos (SP) e Cabo Frio (RJ).

Figura 6. Localização dos testemunhos estudados, coletados em projetos distintos: 6669, 6670, 6678, 6680, 6735, 6740 e 6746 (projeto REVIZEE), 7237 (projeto DEPROAS), 7353 e 7373 (projeto BUZIOS) e 7744 e 7745 (projeto ECOSAN).

3.1. Caracterização Meteorológica

A circulação marítima e, conseqüentemente, a sedimentação marinha são muito afetadas pela atuação de fenômenos meteorológicos, especialmente aqueles relacionados com regime de ventos.

No caso do Atlântico Sul, os regimes de ventos, as massas de ar, a geração de ondas e as correntes superficiais oceânicas estão vinculados às altas pressões tropicais e polares, representadas respectivamente pelo Anticiclone Tropical Semi-Fixo do Atlântico Sul (ATAS) e pelo Anticiclone Polar Migratório (APM) (Figura 7).

Figura 7. Os sistemas de alta pressão ATAS (na região tropical) e APM (oriundo do pólo sul) regem toda a dinâmica meteorológica do Brasil. (Fonte: Rodrigues, 1996).

Estes dois sistemas são os principais controladores da dinâmica atmosférica da costa sul-sudeste brasileira. A circulação de ar nestes dois centros de alta pressão sob a superfície oceânica é no sentido anti-horário e garante em geral, tempo bom nas regiões sob suas atuações, com nebulosidade reduzida.

O ATAS apresenta movimento de oscilação de posição norte-sul, acompanhando as variações sazonais do Equador Térmico (entre a latitude 15°N e 5°S), possuindo, segundo Monteiro (1969 *apud* Martins, 2000), pressões máximas entre 1020 e 1023 mb (aproximadamente 765 e 768 mmHg respectivamente) e temperaturas elevadas.

Este anticiclone é o responsável pela geração dos ventos oriundos de NE (do oceano para o continente), com frequência constante durante todo o ano,

variando sua intensidade, entre as latitudes 10⁰ e 40⁰ S. Além da oscilação norte – sul, o ATAS apresenta também um movimento zonal, ora adentrando o continente sul-americano, ora se afastando rumo ao oceano.

O APM é antecedido por sistemas frontais. Os valores de pressão deste anticiclone são altos sendo que valores de 1036 mb ($\cong$ 777 mmHg) são considerados como de grande intensidade e valores de 1014 mb ($\cong$ 761 mmHg) como de pequena intensidade. A temperatura é constante, porém mais baixa devido às características da massa de ar polar.

Os sistemas frontais (SFs), por sua vez, são as perturbações atmosféricas de maior importância para o clima do sul/sudeste brasileiro. Segundo Cavalcanti *et al.* (1986), os sistemas frontais começam a se desenvolver em um centro de baixa pressão e têm força proporcional ao gradiente de temperatura e umidade entre as massas de ar provenientes do ATAS e do APM. Em seguida, ocorre a ciclogênese ou intensificação destes sistemas frontais, onde o centro de baixa adquire vorticidade em superfície, gerando um ciclone extratropical nas latitudes médias. Segundo Barletta (1997 *apud* Tozzi, 1999), estes sistemas frontais se deslocam a uma velocidade média de 500km/dia.

De uma forma geral, os sistemas frontais trazem consigo um aumento de pluviosidade. O regime de chuvas, na área de estudo, adquire grande importância em relação ao transporte de água doce e sedimentos para o oceano, já que não existem bacias de drenagem expressivas.

Martins (2000) aponta que a quantidade e a intensidade dos sistemas frontais seguem a sazonalidade das estações do ano, guardando características próprias quanto a perturbações e domínio das massas de ar.

Além dos aspectos relacionados à circulação regional e a sazonalidade dos fenômenos meteorológicos, as características locais como relevo (orientação e proximidade da Serra do Mar) e a proximidade marítima (tanto pelo teor de umidade relativo do ar como pelas características oceanográficas tais como ressurgências) acabam por individualizar regiões climatologicamente semelhantes.

O trecho costeiro entre a Baixada Santista do Estado de São Paulo e a Restinga de Marambaia (RJ), devido à proximidade da Serra do Mar, condensa a umidade nas camadas mais baixas da atmosfera, fazendo desta região uma das mais chuvosas do litoral brasileiro (médias entre 2000 a 3000 mm/ano – Sant`Ana Neto, 1990). A existência de um bolsão menos chuvoso no eixo São Sebastião – Ilha de São Sebastião - Enseada de Caraguatatuba, com uma média pluviométrica em torno de 1700 mm, é explicado pela posição a sotavento das serras que a circundam.

Os índices pluviométricos passam a diminuir no sentido de Cabo Frio. A cidade do Rio de Janeiro tem média de chuva acumulada entre 1200 a 1800 mm/ano. A precipitação pluviométrica não passa de 700 mm/ano em Arraial do Cabo e de 823 mm/ano em Cabo Frio.

Esta deficiência hídrica ocorre em consequência da presença intermitente de águas frias oceânicas que, devido ao fenômeno da ressurgência, produz uma drástica diminuição na precipitação originando um microclima local, do tipo semi-árido.

3.2. Hidrodinâmica da plataforma continental

A plataforma interna é caracterizada pela interação entre a Água Tropical (AT) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) com correntes costeiras e o deslocamento da Água Costeira (AC) em direção ao oceano (Castro Filho *et al.*, 1987; Signorini *et al.*, 1989). Neste cenário, a plataforma continental interna é somente uma zona de passagem (*by pass*) para os sedimentos mais finos, que irão se depositar em condições menos energéticas de dinâmica, nas plataformas média e externa.

A AC foi definida por Miranda (1982) como uma massa d'água marinha que se mescla com a água doce oriunda do continente. Normalmente a temperatura desta massa d'água é superior a 26⁰C e a salinidade $\leq$ a 34.

A massa d'água conhecida como AT foi primeiramente definida por Emilson (1961). Esta massa d'água ocupa toda a superfície do oceano Atlântico Sul e é resultado da intensa radiação solar e excesso de evaporação. Apresenta temperaturas maiores que 20°C e salinidades maiores que 36,4.(Miranda, 1982). Esta água é transportada nos 200 primeiros metros da coluna d'água da Corrente do Brasil (Miranda, 1982)

Já a ACAS foi caracterizada por Miranda (1985) ao largo da costa sul – sudeste brasileira como uma massa d'água de circulação picnoclínica e com temperaturas maiores que 6°C e menores que 20°C. Sverdrup *et al.* (1942 *apud* Silveira *et al.*, 2000) apontam que a ACAS corresponde à massa d'água afundada na região da Convergência Subtropical (38°S). Castro Filho (1996) e Castro Filho *et al.* (in Pires-Vanin, 2008) concluíram que a ACAS permanece o ano todo no que delimitou como Plataforma Continental Externa Norte do Estado de São Paulo, que abrange as isóbatas entre 70 e 90 metros.

O deslocamento das 3 massas d'água apresentam forte variação sazonal (Castro Filho *et al.*, 1987). Mahiques *et al.* (2007) resume esta variação sazonal da seguinte maneira: o predomínio de ventos de NE-ENE, entre novembro e março faz com que a ACAS se movimente junto ao fundo em direção à costa, forçando o deslocamento da AC rumo ao oceano e mantendo a AT relativamente distante da linha de costa. Com o avanço das águas frias da ACAS, ocorre na zona costeira uma espécie de ressurgência sazonal. Neste período, ocorre a maior incidência de chuvas da região, aumento do aporte dos rios e consequentemente de sedimentos para a zona costeira (Mahiques *et al.*, 2004). Furtado e Mahiques (1990) e Mahiques *et al.* (2004) consideram que o deslocamento da AC é o fator mais importante no transporte de terrígenos e de matéria orgânica continental para as áreas mais profundas da plataforma.

No restante do ano, ou seja, entre abril a outubro, os ventos predominantes são do quadrante sul, fazendo com que a AT volte a se aproximar da costa e a ACAS fique restrita à plataforma mais profunda.

As correntes costeiras podem modificar localmente o movimento destas três massas d'água. Obstáculos físicos como, por exemplo, a Ilha de São Sebastião, também atenuam a ação destas correntes. Soares (1994) comprovou este fato com o uso de modelagem para a área de plataforma adjacente à ilha, em ocasiões de ventos NE e SW. Esta diminuição da intensidade das correntes faria com que o material em suspensão, existente na coluna d'água a W/SW da ilha, fosse remobilizado pelas correntes de rumo NE para ser depositado na região a E/SE da ilha de São Sebastião (Luedemann, 1979; Mesquita *et al.*, 1979 e Soares, 1994 *in* Barcellos, 2000). Este transporte das plumas de material em suspensão foi observado, através de imagens de satélites (banda TM-1 - indicativa deste tipo de material), por Conti (1998).

A ilha de São Sebastião também limita a distribuição das águas costeiras. Nas proximidades da boca sul do canal, é comum a presença de águas de baixa salinidade, que seriam oriundas do Complexo Estuarino de Santos (Miranda, 1982; Miranda e Castro Filho, 1995; Silva, 1995).

Furtado *et al.* (1987), Bonetti Filho e Furtado (1996), Campos *et al.* (1996) e Mahiques *et al.* (2002) apontam a existência de uma massa de água fria costeira, proveniente de sul, em latitudes baixas (23°S) (Figura 8).

Figura 8. Imagem AVHRR da margem sudeste brasileira, mostrando a temperatura de superfície da água do mar. As cores azuis indicam águas mais frias e as de cores vermelhas indicam águas mais quentes, estas últimas associadas com a Corrente do Brasil. (Campos *et al.*, 1996 adaptado por Mahiques *et al.*, 2002). Vórtices e meandramentos da Corrente do Brasil também podem ser vistos nesta imagem.

Esta massa d'água apresenta baixa salinidade e a presença de foraminíferos típicos das plataformas continentais argentina e uruguaia (Stevenson *et al.*, 1998; Mahiques *et al.*, 2004). Estes últimos autores creditam este fenômeno à água costeira fortemente influenciada pelo Rio da Prata e pelas desembocaduras das lagoas Patos-Mirim (localizadas entre as latitudes 30° e 34° S) que migra para norte durante o inverno. Um modelo hidrográfico climatológico da plataforma sul-americana entre as latitudes de 24° e 40° S foi desenvolvido por Piola *et al.* (2000) e este confirmou a hipótese da existência da migração para norte desta pluma de baixa salinidade proveniente de sul (Mahiques *et al.*, 2004, 2008).

Uma vez que o material em suspensão tenha passado pela área costeira e pela plataforma interna, ele atinge a plataforma média e externa que possuem dinâmica regida principalmente pela atuação das correntes geostróficas, no caso a Corrente do Brasil (CB).

A CB, propriamente dita, é a corrente de contorno oeste correspondente ao Giro Subtropical do Atlântico Sul (Figura 9).

Figura 9. Correntes existentes no Atlântico Sul, associadas ao Giro Subtropical (Silveira *et al.*, 2000).

Estes giros são as feições de maior destaque na circulação oceânica, controlando as grandes correntes marinhas. A CB flui para sul, bordejando a costa brasileira até a região da Convergência Subtropical (38°S), onde se encontra com a Corrente das Malvinas e se afastam da costa.

Poucos trabalhos versam sobre a CB, sendo que a revisão mais completa sobre esta corrente foi efetuada por Silveira *et al.* (2000), quando os autores apresentam uma avaliação do estado da arte do conhecimento sobre esta corrente. A descrição abaixo é baseada principalmente neste trabalho.

A CB é uma corrente baroclínica formada pelo empilhamento vertical de massas d'água com características diversas. A maioria dos autores afirma que esta corrente é formada apenas pela AT (já misturada com a AC) e pela ACAS, especialmente abaixo da latitude 22°S de latitude, ao sul do cabo de São Tomé (RJ) (Silveira *et al.*, 2000). O fluxo principal da CB está situado sobre a isóbata de 1000 metros (N. Garfield, dados não publicados *apud* Mahiques *et al.*, 2007).

A CB, de um modo geral, é considerada fraca em comparação às demais correntes de contorno oeste, estando confinada, em média, aos primeiros 500 metros da coluna d'água, com velocidades superficiais máximas entre 0,5 a 0,7 ms⁻¹ e largura de 120km (Calado, 2001).

Souza (2000) realizou medições diretas de velocidade e temperatura ao largo da cidade de Santos. Foram lançados três fundeios nas profundidades de 100 metros, 200 metros e 1000 metros. Os resultados mostraram que a CB interfere esporadicamente na profundidade de 100 metros, sendo esta região mais influenciada pelas variações meteorológicas. Nesta região há predomínio de fluxo para SW, mas existem também períodos onde o fluxo está com rumo NE. Já nas profundidades entre 200 e 1000 metros, a CB tem presença marcante. Até 400 metros, foi medido um fluxo forte para SW com velocidades que atingiam 1ms⁻¹. Um vórtice ciclônico, de núcleo frio, com duração de 20 dias e alcance vertical de 700 metros foi registrado.

Existem muitos estudos teóricos sobre a ocorrência de meandros e vórtices ao longo da CB a sul de Cabo Frio, porém existem pouquíssimos estudos sobre a dinâmica dos mesmos (Signorini, 1974, 1978; Miranda e Castro Filho, 1979; Velhote, 1998; Gonçalves, 2000; Campos *et al.*, 2000; Calado, 2001).

Estes vórtices e meandros, primeiramente detectados por Mascarenhas *et al.* (1971 *apud* Silveira *et al.*, 2000), são estruturas em geral ciclônicas, junto à quebra da plataforma. Apesar do predomínio dos vórtices ciclônicos, autores como Mascarenhas *et al.* (1971 *apud* Silveira *et al.*, 2000), Signorini (1978) e Campos (1995) encontraram também vórtices anticiclônicos sucedendo os ciclônicos, como

se fosse uma onda de Rossby topográfica. Estas estruturas costumam também apresentar maior expressão horizontal que vertical (Signorini, 1974).

Campos (1995) acredita que a formação destas estruturas na CB seja devido às diferenças na orientação da linha de costa e no gradiente topográfico. Na altura do Cabo Frio, devido à reorientação da linha de costa, o fluxo da CB antes alinhado por inércia em 1000 metros de profundidade atinge regiões mais profundas do talude continental. Com isso, ocorre um estiramento da coluna d'água e a CB ganha vortacidade ciclônica. Já ao sul de Cabo Frio, na Bacia de Santos, a plataforma é mais larga, com declividade mais suave. A linha de costa deste trecho, em geral, mantém uma orientação aproximada NE –SW. A CB, ao entrar nesta região, atinge regiões mais rasas e ganha vortacidade anticiclônica (Calado, 2001).

Campos (1995) e Velhote (1998) propõem que os vórtices ciclônicos sejam, ainda, responsáveis pela ressurgência que existe na região da quebra de plataforma que por sua vez traria ACAS para a plataforma continental da Bacia de Santos. A água ressurgida ascenderia devido à movimentação horária do vórtice, em sua parte dianteira. Mahiques *et al.* (2002) apontaram que o meandramento da CB é a responsável por variações na taxa de sedimentação na plataforma média e principalmente na plataforma externa.

3.3. Fisiografia de fundo da Plataforma e Talude

As margens continentais são províncias fisiográficas situadas entre o continente e as bacias oceânicas, correspondendo a 10% da superfície do planeta. Segundo Hezeen e Menard (1966 *apud* Palma *in* Schobbenhaus *et al.*, 1984), as margens continentais do tipo Atlântico se subdividem em três compartimentos fisiográficos bem definidos: plataforma continental, talude continental e elevação ou sopé continental.

A área estudada está situada na feição fisiográfica denominada Embaiamento São Paulo (Butler, 1970). Esta feição é uma reentrância em forma de arco que se estende no Compartimento Cabo de Santa Marta - Cabo Frio (23^o a

28°S) (Figura 10). A Tabela 3, encontrada em Mahiques *et al.* (2010), mostra as principais características da plataforma continental do Embaiamento São Paulo.

Figura 10. Embaiamento São Paulo (Butler, 1970), reentrância que abrange do Cabo Frio até o Cabo de Santa Marta (Fonte: Cooke *et al.*, 2007)

Tabela 3. Principais características da plataforma continental interna no Embaiamento São Paulo (Mahiques *et al.*, 2010).

Características da Plataforma no Embaiamento São Paulo	
Área da plataforma	267.000 km ²
Largura da plataforma	50 a 230 km
Variação da maré	Menor que 2 metros (Micromaré)
Altura das ondas incidentes	0 a 5 m
Processos dominantes	Ondas na plataforma continental interna/ Correntes na plataforma continental externa
Profundidade média da quebra de plataforma	150 m

Sedimentação (Siliciclástica/ Carbonática/ Autigênica/ Glacial)	Siliciclástica (95%)
Sedimentos Modernos/ Relictos/ Palimpsestos	Moderno (50%) e Relicto/ Palimpsesto (50%)
Movimentação tectônica após o último máximo glacial	Estável

O grande marcador geomorfológico desta região é a ilha de São Sebastião. Este marcador atua não somente mudança de direção da linha de costa como também marca variações nas isóbatas da plataforma continental.

De forma geral, a plataforma continental desta região possui relevo suave e monótono, com declividades que variam entre 1:500 e 1:1350 (Zembruski, 1979 – Figura 11), sendo no geral uma superfície regular, que não excede 20 metros de desnível e resulta da interação das condições hidrodinâmicas que prevalecem desde o início da transgressão holocênica, da natureza da cobertura pré-transgressiva e do aporte de material terrígeno. Em grande parte, as feições do relevo da plataforma foram moldadas pelo rearranjo dos componentes móveis da cobertura sedimentar inconsolidada (Palma *in* Schobbenhaus *et al.*, 1984). Este relevo se estende com estas características até o limite com o talude continental, marcada pela quebra ou borda da plataforma, uma área com maior declividade (Palma *in* Schobbenhaus *et al.*, 1984).

Figura 11. Declividade da plataforma continental diante de Santos, onde a inclinação não excede 1°. Fonte: Cooke *et al.* (2007).

A largura máxima desta plataforma continental é observada na altura de Santos, com 230 km de extensão, e a mínima, no setor Cabo de São Tomé - Cabo

Frio, com 50 km. A profundidade da quebra da plataforma varia entre as isóbatas de 40m e 180m, sendo que o intervalo mais comum situa-se entre as isóbatas de 140 e 160 m (Zembruscki *et al.*, 1972). O desenho das curvas batimétricas na plataforma está bastante influenciado pela configuração da Serra do Mar (Mahiques *et al.*, 2002).

Zembruscki (1979) definiu, para o Embaiamento São Paulo, a compartimentação da plataforma continental baseada nas mudanças de declividade da mesma. Estes compartimentos foram denominados de plataforma interna (até aproximadamente as isóbatas de 50/70 metros), plataforma média (quando é definida, entre 70 e 100 metros) e plataforma externa (de 100 metros até a quebra da plataforma).

Furtado *et al.* (1984), Tessler (1988) e Furtado e Mahiques (1990), a partir de estudos sedimentológicos constataram diferenças entre as porções interna e externa da plataforma continental paulista, limitando a primeira na isóbata de 50 m. Este limite também foi encontrado por Castro Filho *et al.* (1987), no estudo da dinâmica de massas d'água, no domínio das águas costeiras da plataforma norte de São Paulo.

Apesar deste relevo tão suave, a topografia da plataforma do Embaiamento São Paulo inclui feições negativas como canais e vales submarinos, bacias e depressões lineares. As feições positivas são representadas por bancos e cristas, terraços e escarpas de falhas, recifes e bancos costeiros.

Entre Cabo Frio e a ilha de São Sebastião, o relevo é complexo e apresenta maior declividade, com as isóbatas distribuídas com espaçamento irregular entre si. A plataforma média, neste trecho, é substituída por uma escarpa que se localiza aproximadamente na isóbata de 100 metros, sendo caracterizada pelo estreitamento das isóbatas e aumento da declividade do terreno (Zembruscki, 1979). Alves e Ponzi (1984) afirmam que a escarpa na isóbata de 100 metros divide a plataforma em dois níveis distintos. O nível superior, mais raso, é mais inclinado e apresenta um relevo mais regular, ao passo que o inferior estende-se como um terraço horizontalizado, marcado por irregularidades até a zona de quebra, onde passa suavemente para o

talude continental.

Existem alguns paleocanais neste trecho da plataforma, em especial Guanabara, Ilha Grande, Ubatuba, Búzios e São Sebastião (Conti e Furtado, 2006). Conti (2004) e Conti e Furtado (2006) mostram que existe uma boa correlação entre estes paleocanais e a posição dos principais estuários modernos, como o canal de São Sebastião estar associado ao paleocurso do rio Juqueriquerê.

Na porção ao sul da Ilha de São Sebastião, a plataforma continental é mais ampla, com isóbatas equidistantes e paralelas à linha de costa. Sobre esta plataforma é observada a presença de alguns paleocanais, que são em menor número e com menor expressão topográfica, mas bem mais amplos que os observados ao norte da Ilha de São Sebastião. Exemplos destes paleocanais seriam o paleocanal Itapanhaú, correlacionado ao rio Itapanhaú e o Mogi/Cubatão, associado ao Estuário Santista (Conti, 2004; Conti e Furtado, 2006).

Estes paleocanais poderiam ser um meio preferencial de comunicação entre a região costeira e o talude, sendo tanto um facilitador da entrada de águas da plataforma na zona costeira, quanto um exportador de material em suspensão para o oceano profundo. Castro Filho *et al.* (in Pires-Vanin, 2008) comprovaram a penetração de águas mais frias na plataforma continental, em proximidades da Ilha de São Sebastião, mas não confirmaram se a existência dos canais facilitou ou não esta entrada.

O talude continental estende-se da quebra da plataforma até a profundidade de 2.000 m, tendo um gradiente médio de 10 a 40 m/Km. Em contraste com outras áreas da margem continental brasileira, esta borda de plataforma e o talude não se apresentam cortados por muitos canais (Zembruski *et al.*, 1972). Mahiques *et al.* (2002) apontam que no final do Canal de Búzios, junto à isóbata de 600 metros (25°S, 44°30'W), o talude superior transforma-se em uma feição similar a de um delta.

Existe, ainda hoje, atividade sísmica nesta região, porém de forma muito atenuada estando, segundo Morales e Hasui (2001), associada principalmente às

áreas que experimentaram importante movimentação tectônica durante o Terciário, como por exemplo, a plataforma continental e parte da bacia de Santos.

3.4. Sedimentos de fundo

A sedimentação existente em uma plataforma que recebe pequeno aporte fluvial é controlada basicamente pela ação dos seguintes agentes: deslocamento de massas d'água e correntes, taxas de produção primária, clima nas terras emersas adjacentes e variações do nível do mar. Todos estes fatores controlam a entrada e a redistribuição dos diversos tipos de sedimentos na bacia marinha (Mahiques *et al.*, 2004).

A cobertura sedimentar da plataforma continental foi bastante estudada durante a década de 70 por diversos autores (Zembrusky *et al.*, 1972; Martins *et al.*, 1972; Miliman, 1975, 1976, 1978 e Kowsmann e Costa, 1979), através de diversos projetos como REMAC e GEOMAR. A caracterização destes trabalhos, porém, foi basicamente baseada em análises de tamanho de grãos, teor de carbonato biodetrítico, existência de minerais pesados e mineralogia de argilominerais. De um modo geral, estes autores concluíram que boa parte dos sedimentos grossos existentes, sobretudo nas plataformas interna e média, podem ser considerados relictos (Miliman, 1975; Rocha *et al.*, 1975). A heterogeneidade textural é atestada pelos altos valores de seleção que predominam ao longo da plataforma (Rocha *et al.*, 1975).

Apesar da boa distribuição de amostras superficiais coletadas nesta região, a análise de somente alguns parâmetros (predominantemente granulometria) acabou por limitar o conhecimento dos processos de sedimentação nesta região.

Porém, trabalhos mais recentes como Mahiques *et al.* (2002, 2004, 2007, 2008, 2010), Rodrigues *et al.* (2003), Conti (2004), Figueiredo e Tessler (2004) e Conti e Furtado (2006) fazem novas análises nestes sedimentos, incluindo aí o uso de modelagens (Conti, 2004 e Conti e Furtado, 2006), trazendo novas contribuições ao estudo da dinâmica de sedimentação na plataforma.

Mahiques *et al.* (2010) afirmam que a sedimentação no Embaiamento São Paulo pode ser analisada tanto pelo fator latitudinal como pelo aspecto batimétrico.

Pelo ponto de vista latitudinal, a ilha de São Sebastião ainda é considerada como o grande marco divisor de dois setores distintos quanto à distribuição sedimentar e de frações orgânica e inorgânica, sendo um ao norte desta ilha e outro a sul. Os sedimentos em ambos os compartimentos são predominantemente siliciclásticos.

Sob o ponto de vista batimétrico, pode-se afirmar que os sedimentos mais ricos em carbonato de cálcio estão distribuídos entre as isóbatas de 100 e 200 metros nas longitudes entre $043^{\circ}30'$ e $045^{\circ}30'W$ (Mahiques *et al.*, 2004). Algumas manchas e cinturões de cascalhos carbonáticos são encontrados entre a isóbata de 100 metros e a quebra da plataforma. Os sedimentos biodetríticos são compostos predominantemente por carapaças de moluscos (conchas) inteiras ou fragmentadas, associadas a um contingente acentuado de briozoários (Alves e Ponzi, 1984). Estes sedimentos grossos e os cascalhos biodetríticos somam menos de 5% da cobertura de fundo atual (Mahiques *et al.*, 2007). A maioria dos sedimentos existentes atualmente sobre a superfície de fundo parece ser o retrabalhamento de sedimentos regressivos (Mahiques *et al.*, 2004). Existem terrenos mais irregulares, entre as isóbatas de 120 e 160 metros, correspondentes a depósitos de bancos de algas calcáreas, superficialmente descritas em Furtado *et al.* (1997).

O setor a sul da ilha de São Sebastião apresenta uma faixa arenosa com granulometrias fina a muito fina, bem compactada, quartzosa e com distribuição razoavelmente homogênea até aproximadamente a isóbata de 60 metros. A partir desta isóbata nota-se uma clara tendência à diminuição da moda dos sedimentos em direção ao oceano. Em proximidades da isóbata de 100 metros, existe uma superfície alongada com sedimento lamoso. (Zembrusky, 1979, Rodrigues *et al.*, 2003, Mahiques *et al.*, 2004; Conti e Furtado, 2006). Nas proximidades da ilha de São Sebastião, esta área lamosa é substituída por um cinturão arenoso que se estende em direção ao talude entre as longitudes 045° e $046^{\circ}W$ (Rodrigues *et al.*, 2003; Mahiques *et al.*, 2004; Conti, 2004).

Mahiques *et al.* (2004) mostraram que para o compartimento ao sul da ilha de São Sebastião, os sedimentos podem ser classificados quanto ao teor de carbonato biodetrítico entre litoclásticos e biolitoclásticos, utilizando a classificação de Larsounneur *et al.* (1982). A análise mineralógica das argilas mostrou predomínio de montmorilonita em relação aos demais argilominerais (Mahiques *et al.*, 2004). A distribuição da matéria orgânica mostra um comportamento similar ao dos grãos mais finos, tendendo a se concentrar nas partes mais profundas da plataforma (Mahiques *et al.*, 2004). Existe ainda, segundo Mahiques *et al.* (2004), uma área de concentração de matéria orgânica situada ao longo da isóbata de 100 metros entre as longitudes 45° e 47°30'W. A análise isotópica δC^{13} e a razão C/N mostraram que esta matéria orgânica é de origem pelágica e a análise dos isótopos de Nd¹⁵ apresentam valores sempre superiores a -11, mostrando contribuição mista entre as rochas do Pré-Cambriano do Escudo Brasileiro e de sedimentos provenientes do estuário do Rio da Prata e das lagunas da costa sul brasileira (Mahiques *et al.*, 2004, 2008).

O setor ao norte da ilha de São Sebastião apresenta maior complexidade no tocante a sedimentação, sendo que vários autores (Mahiques *et al.*, 2002; Rodrigues *et al.*, 2003; Mahiques *et al.*, 2004; Conti, 2004 e Conti e Furtado, 2006) consideram que a sedimentação e a distribuição da matéria orgânica seguem um padrão em manchas.

Nas porções mais rasas que 60 metros ocorre o predomínio de areias muito finas (areias subarcoseanas de coloração acinzentada, grãos subarredondados a subangulosos, bem polidos e acentuadas proporções de minerais pesados – Alves e Ponzi, 1984) intercalada com faixas de areia fina e, localizadamente em áreas costeiras, ocorrem manchas de areia média a grossa (Conti e Furtado, 2006). Isoladamente, por toda a plataforma inclusive na plataforma interna, ocorrem manchas de material lamoso. Em proximidades da ilha de São Sebastião (entre as longitudes de 045°20' e 044°70' S), ocorrem depósitos de material lamoso, provavelmente devido à zona de sombra de ondas provenientes de sul (Conti e Furtado, 1996; Furtado *et al.* in Pires-Vanin, 2008). Este depósito contém grande

quantidade de matéria orgânica (Mahiques *et al.*, 2004) de origem continental (Zanardi *et al.*, 1999; Bicego *et al.*, 2008).

Em direção a plataforma externa, nota-se o mesmo comportamento visto no setor sul, ou seja, o aumento do teor de lama em direção as partes mais profundas da plataforma, sendo que a isóbata de 100 metros volta a apresentar uma superfície alongada e de constituição lamosa. Este sedimento lamoso, segundo Alves e Ponzi (1984) é predominantemente siltico e plástico e constituído por uma mistura entre caolinita-ilita-montmorilonita. O teor de carbonatos biodetríticos é bastante variado, mas tendendo a crescer em direção a plataforma externa onde pode atingir valores superiores a 75%, ou seja, bioclásticas segundo a classificação de Larssonneur *et al.* (1982). Os valores dos isótopos de Nd¹⁵ apresentaram valores inferiores a -12, com boa correlação com os valores de área fonte do tipo Atlântico (Mahiques *et al.*, 2004).

Rodrigues *et al.* (2003) sintetizaram todos os dados existentes até a ocasião no Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) e construíram um mapa de superfície de fundo para a plataforma continental paulista. Este mapa está apresentado na figura 12.

Figura 12. Mapa granulométrico da plataforma continental adjacente ao estado de São Paulo. Fonte: Rodrigues *et al.* (2003).

A região de Cabo Frio apresenta algumas variações em relação ao restante do setor norte da ilha de São Sebastião. Alves e Ponzi (1984) mostraram que as lamas localizadas nesta área possuem maiores teores de argila (entre 20 e 40%) (Dias *et al.*, 1982 *apud* Alves e Ponzi, 1984), são bastante fluidas e apresentam possível constituição atual. Os autores advogam que possivelmente estas lamas sejam oriundas dos rios São João e Macaé e estejam ali depositadas devido à ação de ventos NE.

A composição destas lamas é predominantemente de caulinita (aproximadamente 70%) com aumento da ocorrência de montmorilonita em direção à Baía do Guanabara (Dias *et al.*, 1982 *apud* Alves e Ponzi, 1984). Este aumento de montmorilonita pode ser creditado a uma possível contribuição de sedimentos da baía de Guanabara para a formação dessas lamas (Alves e Ponzi, 1984).

Mahiques *et al.* (2004) afirmam que esta área também é bastante enriquecida em matéria orgânica.

3.5. Metais contidos nos sedimentos de fundo

Este é um tópico muito pouco estudado na plataforma continental. O primeiro estudo sobre este tema foi efetuado pelo projeto REMAC e publicado por Machado (1985). Este estudo consistiu no mapeamento geoquímico dos sedimentos superficiais da porção sul/ sudeste da margem continental brasileira. A região entre Paranaguá (PR) e Rio de Janeiro foi avaliada com a coleta de apenas 13 amostras sendo que os resultados foram interpolados para toda esta região (Figura 13).

Figura 13. Teores de metais encontrados na plataforma continental entre Paranaguá (PR) e Baía da Ilha Grande (RJ) (Machado, 1985).

Tessler (2001) estudou as porcentagens de Cu, Pb e Zn em sedimentos superficiais e testemunhos da plataforma continental entre Cananéia e Santos, entre profundidades de 100 a 500 metros. Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Amostras de superfície com valores de metais na plataforma continental entre Paranaguá (PR) e Santos (SP) (Tessler, 2001).

Amostra	Lat (S)	Long (W)	Prof. (m)	Metais (ppm)				
				Cu	Pb	Mn	Zn	Cd
6654	-25,47	-46,37	100	5	19			51
6655	-25,44	-46,05	97	7	17			65
6678	-24,77	-45,19	100	12	8,9	735		34
6683	-25,06	-45,54	100	22	36			82
6696	-25,57	-46,69	92,3	20	21			81
6700	-25,42	-46,37	100	19	20		65	
6704	-25,24	-46,05	97	21	41			74
Clark				13	49	230	45	

Este trabalho aponta a sedimentação do material em suspensão na plataforma continental como a principal fonte de metais para esta área.

CETESB (2001) estudou a influência da Baixada Santista na plataforma continental interna adjacente a este compartimento, em pontos situados em profundidades maiores a 15 metros. Estes três pontos, amostrados em 1997 e 1999, estão localizados nos arredores da saída do Canal do Porto e Ilha da Moela, sendo que o mais próximo da ilha é supostamente o local de descarte de dragagem do Canal do Porto (Figura 14).

Figura 14. Mapa da localização dos pontos de coletas, marcados pelo círculo vermelho, efetuados pela CETESB nos anos de 1997 e 1999 (Fonte: CETESB, 2001).

A tabela abaixo (Tabela 5) mostra os teores de metais encontrados nos sedimentos destes pontos. O método usado pela CETESB é conhecido na literatura como USEPA (1994).

Tabela 5. Dados medidos pela CETESB na região da Baixada Santista e os valores de referência utilizados pela mesma a fim de verificar a existência de contaminação.

Amostras	As	Cd	Pb	Cu	Cr	Mn	Hg	Ni	Zn
21A	0,15	0,80	30	14	33	585	0,10	17	45
21B	0,18	0,80	35	16	42	629	0,13	21	54
21C	0,60	0,70	11	0,70	11	215	0,039	8	24
IX*	-	<0,50	<25	8	<30	-	<0,04	13	57
X*	-	<0,50	<25	7	<30	-	<0,04	9	52
TEL**	7,24	0,7	30,2	18,7	52,3		0,13	15,9	124
PEL**	41,6	4,21	112	108	160		0,696	42,8	271

- = amostra não analisada

*- amostras CETESB coletadas em 1997

A,B,C – réplicas

** - TEL (Threshold effect level) – Nível limite abaixo do qual não ocorre efeito adverso à comunidade biológica (Environmental Canadá, 1999 *apud* CETESB, 2001).

** - PEL (Probable effect level) – Nível provável de efeito adverso à comunidade biológica (Environmental Canadá, 1999 *apud* CETESB, 2001).

Segundo os dados CETESB (2001), o ponto onde há a descarga do material dragado do Canal do Porto apresenta níveis iguais ou levemente acima do TEL em relação aos seguintes metais: cádmio, chumbo, mercúrio e níquel. O manganês não apresenta comparação com TEL ou PEL, mas está bastante acima do que supostamente deveria ser a contribuição do Clark regional (granito). Os demais pontos não apresentam nenhum traço de contaminação por metais.

4. Material e Métodos

4.1. Campanha de amostragem

Os testemunhos analisados foram coletados ao longo da plataforma continental e a quebra do talude na porção norte do Embaio São Paulo, adjacentes à região costeira entre Santos (SP) e Arraial do Cabo (RJ), durante o desenvolvimento de quatro projetos no Instituto Oceanográfico da USP.

Os testemunhos 6669, 6670, 6678, 6680, 6735, 6740 e 6746 foram coletados no âmbito do projeto REVIZEE (Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva, Programa de Geologia e Bentos, Score Sul/ Sudeste, Ministério do Meio Ambiente e Amazônia Legal, de 1994), entre os meses de dezembro de 1997 a fevereiro de 1998. Estes testemunhos estão localizados entre 100 e 500 metros de profundidade.

O testemunho 7237 é oriundo do projeto DEPROAS (Dinâmica do Ecossistema de Plataforma da Região Oeste do Atlântico Sul, projeto integrado do IOUSP), e está localizado em proximidades da Ilha de São Sebastião, na plataforma continental interna, na profundidade de 37 metros. Foi coletado em 26 de abril de 2002.

Os testemunhos 7353 e 7373 foram coletados durante a realização da etapa de campo do projeto BÚZIOS (O papel do Canal de Búzios no transporte de sedimentos quaternários da margem continental do Estado de São Paulo), realizada entre 20 a 26 de janeiro de 2003.

Os testemunhos 7744 e 7745 foram coletados durante a realização da etapa de inverno do projeto ECOSAN (A influência do Complexo Estuarino da Baixada Santista sobre o Ecossistema da Plataforma Adjacente), realizada em setembro de 2005.

Todas estas coletas de campo foram realizadas em radiais transversais à plataforma e talude continentais, com o uso de um box-corer, a bordo do Navio

Oceanográfico Prof. W. Besnard, pertencente ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (I.O.USP) (Figura 15).

Figura 15. Box-Corer fechado e já aberto, com sedimento coletado. Fotos: Samara Cazzoli y Goya.

Uma vez coletadas, as seqüências sedimentares foram fotografadas e descritas macroscopicamente. Após a descrição, houve a coleta dos testemunhos a partir da colocação de tubos de PVC, com cerca de 3 polegadas de diâmetro, cortados em tamanho apropriado com a recuperação do testemunho obtida (Figura 16).

Figura 16. Tubos de PVC cravados em sedimentos coletados pelo box-corer. Foto: Samara Cazzoli y Goya.

A partir daí houveram alguns tratamentos diferenciados. Os tubos contendo as colunas sedimentares amostradas durante os cruzeiros dos projetos REVIZEE e ECOSAN foram congelados a bordo e posteriormente amostrados em São Paulo, onde amostras foram obtidas a cada 2 cm de profundidade (a cada 1 cm de profundidade - projeto ECOSAN). Estas amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas, identificadas e imediatamente congeladas.

Já as colunas sedimentares coletadas nos projetos DEPROAS e BÚZIOS foram amostradas a bordo, com um extrusor vertical. No projeto DEPROAS, as amostras foram obtidas também a cada 2 cm de profundidade e igualmente acondicionadas e congeladas em embalagens plásticas. No projeto BÚZIOS, as amostras foram obtidas a cada 0,5 cm de profundidade e acondicionadas, identificadas e congeladas em embalagens de alumínio.

O fatiamento das amostras a cada 2 cm de profundidade visava garantir a melhor relação entre quantidade de material para análise/ qualidade do resultado obtido nestas análises. A diferença nas amostragens efetuadas no projeto BÚZIOS e ECOSAN foi com o objetivo de testar de novas metodologias de amostragem dos sedimentos, a fim de melhorar os resultados obtidos nas análises de espectrometria gama.

O congelamento das amostras é uma necessidade, pois permite que as características do sedimento sejam preservadas até o momento das análises laboratoriais.

4.2. Análises Laboratoriais

Após a coleta e amostragem, as amostras foram submetidas a ensaios laboratoriais para obtenção do teor de umidade e da caracterização textural e composicional dos sedimentos a partir da obtenção dos teores de carbonato biodetrítico, de areia e lama e de elementos metálicos (Pb, Cu e Zn).

4.2.1. Análise do conteúdo de carbonato biodetrítico

A determinação do conteúdo em carbonato biodetrítico é um importante parâmetro sedimentológico no estudo de ambientes atuais e pretéritos. Sua utilização isolada ou em conjunto com outros parâmetros possibilita interpretações relacionadas à entrada de sedimentos alóctones no sistema, produtividade e inclusive, taxas de sedimentação (Figueira *et al.*, 2006). Neste trabalho, o teor de carbonato biodetrítico foi determinado segundo o método descrito em Ingram (*in* Carver, 1971).

4.2.2. Análise granulométrica

A análise da granulometria do sedimento fornece informações sobre fonte e dispersão dos sedimentos, podendo ser inferidas relações com as correntes existentes na distribuição sedimentar (Bryce *et al.*, 1998). Outra função da análise granulométrica é referente à normalização dos dados de taxa de sedimentação, através da obtenção do teor de lama.

O método utilizado foi o que se convencionou chamar de método tradicional, descrito em Suguio (1973). A escala granulométrica utilizada foi a de Wentworth, que tem como vantagem, a regularidade dos intervalos entre as classes escolhidas. Os parâmetros granulométricos foram determinados com o uso do programa Labse, desenvolvido pelo Professor Doutor Jorge Kazuo Yamamoto, do Instituto de Geociências da USP. Este programa calcula, entre outros parâmetros, os dados estatísticos dos sedimentos segundo as fórmulas de Folk e Ward (1957) e permite a classificação de sedimentos segundo Shepard (1954).

4.2.3. Análise dos elementos metálicos

Estas análises são em geral efetuadas a fim de contemplar dois pontos importantes: o levantamento de quantidade de determinados elementos metálicos existentes nos sedimentos da plataforma, e também a determinação de uma suposta contaminação dos sedimentos da plataforma por ação antropogênica.

As análises referentes aos elementos metálicos Pb, Cu e Zn foram realizadas por lixiviação ácida e posterior passagem por aparelho de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), utilizando ítrio como padrão interno, e executadas pela CORPLAB Brasil.

O procedimento mais detalhado está apresentado abaixo, com base na metodologia descrita em Fukumoto (2007).

“Inicialmente, dois (2) gramas de sedimento seco e homogeneizado, retirados dos testemunhos, foram digeridos com 10 ml de HNO₃ a 95°C por 15 minutos. Em seguida, a solução foi resfriada e procedeu-se a adição de 5 ml de HNO₃ concentrado, novamente sob aquecimento, por 30 minutos. Após esta digestão, foram adicionados 5 ml de HNO₃ concentrado até a completa oxidação da amostra, verificada pela ausência de vapores marrons. A solução foi evaporada até 5 ml e resfriada, adicionando-se 2 ml de água e 3 ml de H₂O₂ a 30%, sob aquecimento. O procedimento continuou com a adição de 1 ml de H₂O₂ a 30%, até a completa eliminação da matéria orgânica. A solução foi filtrada em papel de filtro faixa lenta e, a seguir, foi diluída para 100 ml em balão volumétrico”.

Uma vez reduzida, a solução é analisada por um ICP-OES, conforme metodologia SW 846 U.S. EPA 6010b (U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1996). Previamente a execução das análises é efetuado um teste de desempenho do equipamento com o uso de uma solução padrão de manganês 1 mg/l na posição axial e de 10 mg/l na posição radial. A intensidade do padrão deve ser superior a 600.000 cps (Fukumoto, 2007).

O equipamento utilizado por este laboratório foi um ICP-OES Optima 2100DV da Perkin Elmer. A determinação dos diversos elementos químicos se dá com o uso de um sistema óptico com visão radial e axial do plasma. O instrumento mede espectros de emissão característicos por espectrometria óptica. Correções da radiação de fundo são necessárias para a correta determinação dos elementos (Fukumoto, 2007).

A detectabilidade, sensibilidade e faixa de concentração linear e ótima dos elementos variam com o comprimento de onda, espectrômetro, matriz e condições operacionais. A Tabela 6, apresentada em Fukumoto (2007), mostra os comprimentos de onda analíticos utilizados e os limites de quantificação do método.

Tabela 6. Comprimentos de onda utilizados e limites de quantificação do método (*apud* Fukumoto, 2007).

Elemento	Comprimentos de onda (nm) / Visão	Limite de quantificação (mg.kg⁻¹) *
Cobre	324,754 / axial	1,50
Chumbo	220,353 / axial	0,50
Zinco	213,856 / axial	2,50

Os limites de quantificação para as amostras estão baseados no limite de detecção do método e devem ser, no mínimo, de três a cinco vezes superiores a estes limites de detecção, que por sua vez são determinados de acordo com Código de Regulamentação Federal dos EUA (ELECTRONIC CODE OF FEDERAL REGULATIONS, 2007) (Fukumoto, 2007).

Após a detecção do teor de metais nas amostras de sedimentos, pode ser efetuado o cálculo conhecido como fator de enriquecimento. A utilização deste tipo de fator visa a comparação entre os teores de metais em sedimentos com os determinados teores usados como referência (KERSTEN *et al.*, 1989 *apud* Fukumoto, 2007). Estes valores de referência podem ser as composições médias crustais (clarks) ou os teores no nível de base. O elemento normalizador é, em geral, um elemento químico pouco móvel ou a fração lama da amostra.

O fator de enriquecimento (FE) pode ser calculado de acordo com a Equação 4 (SZEFER *et al.*, 1998 *apud* Fukumoto, 2007).

$$FE = \frac{\left(\frac{C_i}{C_n}\right)_{amostra}}{\left(\frac{C_i}{C_n}\right)_{referência}} \quad \text{Equação 4}$$

Onde

FE é o fator de enriquecimento,

C_i é a concentração de um dado metal e

C_n é a concentração de um elemento normalizador.

Quando o fator de enriquecimento é igual a 1, a principal fonte do metal é considerada como sendo a contribuição natural das rochas e rios locais. 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 (Fukumoto, 2007).

Foram analisadas as amostras provenientes dos testemunhos dos projetos REVIZEE (6669, 6678, 6680, 6735, 6740 e 6746) e do ECOSAN (7744 e 7745). A exceção entre estes projetos foi o testemunho 6670 que não foi analisado já que, devido à sua localização em grande profundidade e em grande distância da costa, é muito improvável que apresente contaminação por metais.

Não foram efetuadas análises dos teores de metais (Pb, Cu e Zn) nos seguintes testemunhos: 6670, 7237, 7353 e 7373, uma vez que, por pertencerem a diferentes projetos, não houve verba suficiente para a análise de metais.

Tanto para a análise dos dados obtidos nas análises granulométricas como para a análise do teor de metais, foi utilizada uma técnica estatística bastante comum conhecida como Regressão Linear Simples (UFMA, 2010). A análise de regressão é uma metodologia estatística que utiliza a relação entre duas ou mais variáveis quantitativas (ou qualitativas) de tal forma que uma variável pode ser predita a partir das demais. O caso mais simples de regressão é conhecido como Regressão Linear Simples, que é utilizado quando são estudadas somente duas variáveis e a relação entre elas pode ser representada por uma linha reta.

A Regressão Linear Simples também aponta se existe uma hipótese a respeito de uma provável relação de causa e efeito entre as variáveis, por exemplo, se a variável **y** “depende” da variável **x**. Neste caso, **y** é chamado de variável dependente ou variável resposta e **x** é chamado de variável independente ou explanatória. A equação utilizada é:

$$y = a + Bx \quad \text{Equação 5}$$

Onde

a é o coeficiente linear (também chamado intercepto, é o valor que **y** assume quando **x** for zero) e

B é o coeficiente angular (é a inclinação da reta, mede o aumento ou redução em **y** para cada aumento de uma unidade em **x**).

4.3. Análise dos radionuclídeos e obtenção da taxa de sedimentação

A taxa de sedimentação, para um período de aproximadamente 150 anos, é calculada a partir da emissão de raios gamas de radionuclídeos como o ^{210}Pb e ^{137}Cs .

A espectrometria gama, com o uso de detectores de semicondutores, é uma técnica de grande utilidade para a determinação de baixas concentrações de radionuclídeos em amostras ambientais (Masqué, 1999), como é o caso das amostras do Atlântico Sul.

Neste trabalho, foi usado um detector de germânio hiperpuro (modelos GMX 25190 P e GMX 50 P, da EG&G Ortec), equipado com uma blindagem de chumbo, ligado a analisadores multicanais SPECTRUM MASTERTM e eletrônica associada, pertencente ao Laboratório de Espectrometria Gama do Instituto Oceanográfico da USP.

Basicamente, o sistema funciona com um cristal de germânio hiperpuro situado em uma câmara resfriada com nitrogênio líquido. O nitrogênio, neste estado

físico, apresenta um potencial de refrigeração de até -196°C . O cristal de germânio está inversamente polarizado e o sinal de saída é tratado eletronicamente e armazenado na memória do analisador multicanal (Masqué, 1999). O detector GMX permite a determinação das atividades dos radionuclídeos presentes em uma amostra em um intervalo de energias entre 0 KeV até 3,0 MeV.

As amostras de sedimentos já secas, sem nenhum tipo de tratamento químico, são pesadas e colocadas em recipientes plásticos com 5 cm de diâmetro e 1 cm de altura, que são selados com fita de silicone para propiciar o isolamento da amostra, semelhante ao processo efetuado por Tessler (2001). Estas amostras permanecem assim por, pelo menos, 20 dias para atingirem o equilíbrio radiogênico.

O primeiro registro de contagem é feito no período de 90.000 segundos, o segundo arquivo é armazenado com 95.000 segundos contados, o terceiro com 100.000 segundos contados e a partir daí, os registros se armazenam com intervalos de 10.000 segundos até completar 120.000 segundos, que é onde acaba a contagem da amostra, totalizando em média um período de 48 horas.

Uma vez por mês, conta-se a amostra denominada Branco ou BG (*Background*). Esta amostra nada mais é do que um recipiente igual ao utilizado para as amostras de sedimentos, só que vazio. Este recipiente vazio é usado para a obtenção do valor de *background*, ou seja, quanto o próprio recipiente emite de radiação gama. Esta amostra é contada mesmo que o detector esteja contando um só testemunho por vários meses consecutivos, fazendo com que este apresente vários backgrounds.

O espectro resultante de cada medida, tanto das amostras de sedimento como da amostra branco, pode ser visualizado em uma tela de computador e as análises são feitas com o auxílio do programa MAESTRO “for Windows” da EG&G Ortec. Este programa, além de aceitar o arquivo de controle em formato TXT, possui uma biblioteca de picos de emissões dos radionuclídeos facilmente identificáveis, o que ajuda na identificação dos picos analisados. Todos os picos dos espectros passaram, antes da análise, por um processo de “alisamento” (*smoothing*) dentro do próprio programa (Figueira *et al.*, 1997).

Periodicamente, o detector passa por avaliações de calibração, contando materiais certificados e com espectros já conhecidos, desta forma, sua acuidade e eficiência são avaliados. Estas certificações são importantes tanto para aferir métodos como para verificar a precisão das medidas feitas no laboratório.

Após a análise dos espectros obtidos durante as contagens das amostras, é necessário realizar ainda uma correção, referente ao fator de auto absorção. Este fator ocorre com uma determinada porcentagem da emissão gama que é absorvida dentro da própria amostra, especialmente nos radionuclídeos com energias mais baixas. Este é o caso, por exemplo, do ^{210}Pb , com uma linha de emissão a 47 keV e do ^{241}Am com energia de emissão de 54keV.

Para realizar esta correção, as amostras de sedimentos e a amostra branco são recontadas no detector, com uma fonte de ^{241}Am tipo pastilha durante um período de 250 segundos. A fonte de ^{241}Am é utilizada por ser a única fonte de baixa energia disponível no laboratório do Instituto Oceanográfico.

A partir destas contagens, com seus resultados devidamente organizados em tabelas Excel, pode-se partir para as análises propriamente ditas. São feitos os cálculos de fator de auto absorção e média dos backgrounds, para início da determinação da taxa de sedimentação.

Após a correção feita através do fator de auto absorção e do background, inicia-se o cálculo da atividade do ^{210}Pb .

A atividade do radionuclídeo ^{210}Pb por espectrometria gama foi determinada como indicado na Equação 6:

$$A_{210\text{Pb}} = \frac{(C \times F) - BG}{t \times m \times \epsilon_{210\text{Pb}}} \quad \text{Equação 6}$$

Onde

$A_{210\text{Pb}}$ é a atividade do ^{210}Pb na amostra (Bq.kg-1),

C é o número de contagens do ^{210}Pb na amostra,

F é o fator de auto absorção calculado na Equação 1,

BG é o número de contagens da radiação de fundo na região do ^{210}Pb (47keV),

t é o tempo de contagem da amostra, em segundos,

m é a massa da amostra, em quilogramas e

$\varepsilon^{210}\text{Pb}$ é a eficiência do detector que no caso do ^{210}Pb é igual a 0,6 % e para o ^{226}Ra é de 1,8%.

Para a determinação de ^{226}Ra , por meio de emissão gama do ^{214}Bi ($E_\gamma=609\text{keV}$) é necessário que se estabeleça o equilíbrio entre ^{222}Rn , intermediário na cadeia e o ^{226}Ra . Segundo Canet e Jacquemin (1990 *apud* Saito, 2002) cerca de 80% do equilíbrio permanece em amostras sólidas e esta relação é obtida totalmente após 20 dias de preparação da amostra. Desta forma, após a secagem, homogeneização e acondicionamento das amostras nos recipientes para detecção, essas foram guardadas por cerca de 20 dias e, em seguida, colocadas no detector para a determinação dos radionuclídeos.

A preparação das amostras, a sistemática para a detecção de ^{226}Ra , a determinação da eficiência e a análise do branco foram efetuadas da mesma forma que as descritas para o chumbo. A atividade de ^{226}Ra por espectrometria gama foi obtida por meio da Equação 7:

$$A_{226\text{Ra}} = \frac{(C \times F) - BG}{t \times m \times \varepsilon_{214\text{Bi}}} \quad \text{Equação 7}$$

Em que

$A_{226\text{Ra}}$ é a atividade do ^{226}Ra na amostra (Bq.kg^{-1}),

C é o número de contagens do ^{214}Bi na amostra,

BG é o número de contagens da radiação de fundo na região do ^{214}Bi (609keV),

t é o tempo de contagem da amostra, em segundos,

m é a massa da amostra, em quilogramas e

$\varepsilon_{214\text{Bi}}$ é a eficiência do detector para que ^{214}Bi seja igual a $(4,0 \pm 0,8) \%$.

Estes métodos desenvolvidos por Figueira (2000) para a análise de ^{210}Pb e ^{226}Ra foram aplicados em amostras de referência da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), para a certificação e, em seguida, aplicados nas amostras de sedimentos coletadas ao longo da plataforma continental da costa centro-norte paulista e centro-sul fluminense.

A taxa de sedimentação pode ser calculada por meio do modelo CIC (*Constant Initial Concentration* (Equação 8):

$$S = \frac{(\lambda \times D)}{\ln(C_{210\text{Pb}}/C_{0210\text{Pb}})} \quad \text{Equação 8}$$

Em que

S é a taxa de sedimentação em cm.ano^{-1} ,

C é a contagem do ^{210}Pb não suportado ("unsupported") na base do testemunho,

C_0 é a contagem do ^{210}Pb não suportado ("unsupported") no topo do testemunho,

λ é a constante de decaimento radioativo do ^{210}Pb igual a $0,031076 \text{ ano}^{-1}$ e

D é a distância entre o topo e o estrato medido, em centímetros.

A partir dos dados da concentração de ^{210}Pb não-suportado nos diferentes testemunhos, são obtidos gráficos da relação de $\text{Ln } ^{210}\text{Pb}-^{226}\text{Ra}$ versus a profundidade das amostras. A partir do coeficiente angular da reta de regressão, determina-se a taxa de sedimentação.

A determinação de ^{137}Cs por espectrometria gama é feita diretamente pelo seu fotopico de 661 keV. Figueira *et al.* (1997) afirma que os maiores problemas para a detecção de ^{137}Cs , quando presente em pequenas quantidades como é o caso da América do Sul, estão relacionados ao alto valor detectado para a radiação de fundo (branco) e à baixa capacidade de detecção dos equipamentos de

contagem. Estes autores e ainda Fukumoto (2007) minimizaram esses problemas com o uso de contagens cumulativas de ^{137}Cs na amostra em análise e na amostra “background”, por longos períodos e realizando a suavização dos picos de radiação gama detectados. Neste trabalho, a contagem de ^{137}Cs adotada foi de 120.000 segundos, que resulta em cerca de 2 dias para a contagem de uma única amostra.

A atividade de ^{137}Cs por espectrometria gama é obtida por meio da seguinte equação 9:

$$A_{137Cs} = \frac{(C \times F) - BG}{t} \times m \times \epsilon_{137Cs} \quad \text{Equação 9}$$

Onde

A_{137Cs} é a atividade do ^{137}Cs na amostra (Bq.kg-1),

C é o número de contagens do ^{137}Cs na amostra,

BG é o número de contagens da radiação de fundo na região do ^{137}Cs (661 keV),

t é o tempo de contagem da amostra, em segundos,

m é o massa da amostra, em quilogramas e

ϵ_{137Cs} é a eficiência do detector para o ^{137}Cs .

Os picos de ^{137}Cs obtidos nos testemunhos foram associados ao máximo de emissão atmosférica deste radionuclídeo no hemisfério sul, causado pelas explosões nucleares ocorridas especialmente no ano de 1963. Após este período, se presume que a deposição de ^{137}Cs foi constante ao longo dos anos.

5. Resultados

Os testemunhos estudados podem ser subdivididos em três compartimentos com profundidades distintas entre si (Figura 17).

Figura 17. Área de estudo subdividida nos seguintes compartimentos: Costeiro (marcado pelo círculo amarelo), Profundo (marcado pelo retângulo azul) e Isóbata de 100 metros, que foi subdividido em duas porções: sul da Ilha de São Sebastião (marcado pelo retângulo verde) e norte da Ilha de São Sebastião (marcado pelo polígono vermelho).

O primeiro compartimento foi denominado como costeiro e agrupa os testemunhos 7237 e 7353 (Figura 18). Estes testemunhos, embora apresentem profundidade entre 37 e 38,5 metros, estão muito próximos da ilha de São Sebastião e podem ser considerados sob influência da dinâmica de plataforma interna.

Figura 18. Compartimento Costeiro, que engloba os testemunhos 7237 e 7353. Ambos estão situados nas proximidades da Ilha de São Sebastião, próximos da isóbata de 40 metros.

O segundo compartimento está na profundidade média de 100 metros, em uma faixa de sedimentos mais lamosos. Neste compartimento estão os seguintes testemunhos: 6669 (102m), 6678 (100m), 6735 (102m), 6740 (99m), 6746 (100m), 7373 (126m), 7744 (97m) e 7745 (94m). Este compartimento ainda pode ser subdividido, levando-se em conta as diferenças de dinâmica de sedimentação e de circulação oceânica descritas na área de estudo, em porção ao norte (testemunhos 6735, 6740, 6746 e 7373) e ao sul da Ilha de São Sebastião (testemunhos 6678, 7744 e 7745), onde o testemunho 6669 representa a transição entre as duas porções (Figura 19 A, B).

Figuras 19 A, B. Compartimento Isóbata de 100 metros. Este compartimento foi subdividido em duas partes, situadas respectivamente ao sul (Figura 19A, acima) e ao norte da Ilha de São Sebastião (Figura 19B, abaixo). O testemunho 6669 representa a transição entre as duas partes.

Por fim, o terceiro compartimento está na profundidade média de 500 metros e engloba os testemunhos 6670 e 6680 (Figura 20).

Figura 20. Terceiro Compartimento, que congrega os dois testemunhos situados a aproximadamente 500 metros de profundidade e serão usados como ponto controle ou de background.

As descrições granulométricas dos testemunhos estudados serão feitas sempre da base para o topo e considerando-se o erro inerente destas análises, que gira em torno de 5%.

5.1. Teor de Carbonato Biodetrítico e Granulometria

As tabelas com os resultados obtidos para todos os testemunhos em relação aos parâmetros teor de carbonato biodetrítico, areia e lama estão no Anexo 01.

5.1.1 Compartimento Costeiro

Os resultados estão apresentados nas figuras 21 e 22, que foram construídas no software “PanPlot®” (da empresa *Publishing Network for Geoscientific & Environmental Data*) que constrói automaticamente gráficos que envolvem variáveis distintas em relação a um único ponto em comum (no caso, a profundidade da amostra). As escalas numéricas apresentadas nos eixos (ordenadas e abscissas) são colocados automaticamente, em virtude dos valores obtidos nas análises granulométricas e de teor de CaCO_3 , não permitindo uma uniformização entre elas.

Figura 21. Teor de CaCO₃ biodetrítico, areia e lama no testemunho 7237.

Figura 22. Teor de CaCO₃ biodetrítico, areia e lama no testemunho 7353.

De um modo geral, ambos os testemunhos são classificados como litoclásticos, segundo a classificação de Larssonneur (1982), indicando predomínio de sedimentação terrígena em toda esta área. Os dois testemunhos mostram aumento

de teores de carbonato biodetrítico da base para o topo, sendo mais evidente no testemunho 7353 do que no testemunho 7237. Os biodetritos, no testemunho 7237, apresentam-se bastante quebrados, em pedaços milimétricos, arredondados, indicando remobilização deste material de outro setor da plataforma. Já no testemunho 7353 são muito difíceis de serem visualizados em lupa devido ao seu pequeno tamanho (menores que 0,062mm).

As exceções são encontradas somente de forma localizada em ambos os testemunhos. A profundidade de 6 cm do testemunho 7353 apresenta um nível de 31% de CaCO_3 , apresentando classificação litobioclástica (Larsonneur, 1982), com maior participação da sedimentação carbonática, embora o erro inerente desta análise possa ter posto esta porção do testemunho, equivocadamente, nesta classificação. Esta porção mais enriquecida em carbonato biodetrítico está confinada neste intervalo e não voltou a repetir-se ao longo desta coluna estratigráfica. Já o trecho entre 6 e 10 cm de profundidade do testemunho 7237 apresentou teores que oscilaram entre 5 a 6% de CaCO_3 , o que diferiu da média do restante do testemunho que é de aproximadamente 11%.

Quanto à distribuição granulométrica, o testemunho 7237 apresentou granocrescência ascendente partindo de 6% de areia na base para 15% de areia no topo. Já o testemunho 7353 apresenta uma tendência à diminuição de granulometria, embora em um padrão mais irregular do que aquele visto no testemunho 7237.

Retas de regressão linear aplicadas às duas distribuições granulométricas da fração arenosa nos dois testemunhos auxiliam na visualização destas tendências (Figuras 23 e 24).

Figura 23. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para a fração arenosa do testemunho 7237.

Figura 24. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para a fração arenosa do testemunho 7353.

5.1.2. Compartimento Isóbata de 100 metros - Porção Sul

Os resultados obtidos para os parâmetros CaCO_3 , Areia e Lama deste compartimento estão apresentados nas figuras 25 a 28.

Figura 25. Teor de CaCO₃ biodetrítico, areia e lama no testemunho 7744.

Figura 26. Teor de CaCO₃ biodetrítico, areia e lama no testemunho 7745.

Figura 27. Teor de CaCO₃ biodetrítico, areia e lama no testemunho 6678.

Figura 28. Teor de CaCO₃ biodetrítico, areia e lama no testemunho 6669.

Neste compartimento, em relação ao teor de carbonato biodetrítico, os testemunhos 7744, 7745 e 6669 apresentaram valores relativamente semelhantes ao longo da coluna sedimentar, sendo que o testemunho 7744 apresentou um valor

médio de 13% de CaCO_3 , o testemunho 7745 o valor médio de 18% de CaCO_3 e o testemunho de transição 6669 apresenta um valor médio de 19% de CaCO_3 . Estes três testemunhos são classificados como litoclásticos (Larsonneur, 1982), com predomínio claro de sedimentação terrígena.

O testemunho 6678 apresenta valores de CaCO_3 muito mais altos que os demais neste compartimento, com média de 63% ao longo do testemunho, classificado como biolitoclástico (Larsonneur, 1982) com pequena tendência de aumento na concentração de CaCO_3 a partir da base do testemunho. Os carbonatos foram identificados como predominantemente constituídos por moluscos, briozoários e equinodermos, bem retrabalhados, muito fragmentados, com presença de processos de dissolução e eventuais tubos de colonização em valvas maiores. Este resultado era esperado, uma vez que se encontra na região onde foi descrita por Mahiques *et al.* (2004) a maior ocorrência de sedimentos carbonáticos da plataforma paulista.

Ao longo deste compartimento, nota-se nos testemunhos 7744 e 7745 (em especial neste último) uma aparente diminuição do tamanho dos sedimentos rumo ao topo dos testemunhos, ou seja, uma aparente diminuição da dinâmica deposicional da área ou um aumento do aporte de sedimentos finos nesta porção da plataforma. A quantidade de areia atinge o seu menor valor no testemunho 7745, situado em frente ao estuário santista. Os testemunhos 6669 e 6678 apresentam uma tendência mais estável em relação ao tamanho dos grãos sendo que o testemunho 6669 apresenta predomínio de sedimento arenoso em toda a sua extensão, ao contrário dos demais testemunhos estudados neste compartimento.

5.1.3. Compartimento Isóbata de 100 metros - Porção Norte

Os resultados obtidos para os parâmetros CaCO_3 , Areia e Lama deste compartimento estão apresentados nas figuras 29 a 32.

Figura 29. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 6735.

Figura 30. Teor de CaCO_3 biodetrítico, areia e lama no testemunho 6740.

Figura 31. Teor de CaCO₃ biodetrítico, areia e lama no testemunho 6746.

Figura 32. Teor de CaCO₃ biodetrítico, areia e lama no testemunho 7373.

Quanto ao teor de CaCO₃, os testemunhos 6746 e 7373, da base ao topo, apresentaram tendência à estabilidade de valores de CaCO₃. Os testemunhos 6735 e 6740 apresentaram tendências opostas quanto à concentração de CaCO₃, sendo

que o testemunho 6735 apresentou aumento e o 6740 apresentou diminuição nesta concentração, da base para o topo.

Os testemunhos 6735, 6740 (exceto em um pico de concentração situado aproximadamente entre 2 e 3 cm de profundidade) e o 6746 são classificados como litoclásticos (Larsonneur, 1982), com predomínio claro de sedimentação terrígena. Este intervalo entre 2 e 3 centímetros de profundidade do testemunho 6740 (com teor de 40% de CaCO_3) pode ser classificado como litobioclástico.

O testemunho 7373 é classificado como litobioclástico (Larsonneur, 1982), com predomínio de sedimentação terrígena, porém com significativa deposição de sedimentos bioclásticos. Neste ponto, os carbonatos biodetríticos apresentam-se extremamente retrabalhados, com processos de dissolução nas valvas, similares àqueles observados no testemunho 6678. No nível de 4 cm ocorre um aumento significativo no teor de areia mas é um incremento localizado.

De um modo geral, o teor de areia tende a diminuir na porção central deste compartimento (testemunhos 6740), aumentando tanto em direção norte (testemunho 6746) quanto em direção sul (testemunho 6735). O testemunho 7373 manteve teores de areia similares ao longo de todo o testemunho, com exceção de um pico de maior concentração de areia situado aproximadamente na profundidade de 4 cm. Outra exceção ocorre no testemunho 6740, entre 2 e 3 centímetros, onde ocorre um aumento de teor de lama mas que retorna aos níveis anteriormente vistos ao longo do testemunho nas camadas acima. Este aumento de lama ocorre junto com um aumento de teor de carbonato biodetrítico.

5.1.4. Compartimento Isóbata de 500 metros

Os resultados obtidos para os parâmetros CaCO_3 , Areia e Lama deste compartimento estão apresentados nas figuras 33 e 34.

Figura 33. Teor de CaCO₃ biodetrítico, areia e lama no testemunho 6670.

Figura 34. Teor de CaCO₃ biodetrítico, areia e lama no testemunho 6680.

Quanto ao teor de CaCO₃, os dois testemunhos apresentam entre si, uma distribuição bastante diferenciada. O testemunho 6670 apresenta certa constância de valores de carbonato biodetrítico (em torno de 21%), podendo, como um todo, ser

classificado como litoclástico, segundo a classificação de Larssonneur (1982), com predomínio de sedimentação terrígena.

Já o testemunho 6680 apresenta tendência geral de aumento do teor de CaCO_3 (valor basal 20% e valor de topo de 35%). A transição entre valores tido como litoclásticos para litobioclásticos (Larssonneur, 1982) está na profundidade de 3 cm. Esta variação indica uma mudança no padrão de sedimentação, com diminuição da importância da sedimentação terrígena e aumento de precipitação de sedimentos bioclásticos. O carbonato biodetrítico aqui é menos corroído do que aquele visto na isóbata de 100 metros, porém apresenta sinais de retrabalhamento. Ocorre ainda a presença de alguns organismos planctônicos bem menos desgastados, o que não foi visto nas profundidades menores.

Os dois testemunhos apresentam tendências semelhantes quando se verifica o padrão de sedimentação atual, sendo ambos testemunhos são lamosos diferindo entre si em relação ao teor de areia existente ao longo do testemunhos, que é bem mais significativo no testemunho 6680. O testemunho 6670 apresenta um padrão que alterna camadas com maiores e menores teores de areia, sem tendência ao aumento ou diminuição da granulometria, mostrando um padrão bastante estável quanto a este parâmetro.

5.2. Teor de Metais

As tabelas com os resultados de teores de metais, sem normalização e normalizados a partir do teor de lama, em todos os testemunhos estudados, estão no Anexo 02.

5.2.1. Compartimento Isóbata de 100 metros - Porção Sul

O teor de metais dos testemunhos deste compartimento está ilustrado nas Figuras 35 a 50. Os fatores de enriquecimento de Pb, Cu, e Zn estão apresentados nas tabelas 7 a 10.

Figura 35. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 7744 (valores normalizados com o teor de lama).

Figura 36. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 7744.

Figura 37. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 7744.

Figura 38. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 7744.

Tabela 7. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 7744.

Testemunho	Amostra	F.E. Pb	F.E. Cu	F.E. Zn
7744	1	0,02	0,05	0,07
	2	0,01	0,05	0,06
	3	0,01	0,05	0,06
	4	0,01	0,05	0,07
	5	0,02	0,05	0,06
	6	0,01	0,05	0,06
	7	0,01	0,05	0,06
	9	0,01	0,04	0,06
	10	0,01	0,05	0,06
	11	0,01	0,04	0,22
	12	0,01	0,04	0,06
	13	0,01	0,04	0,06
	14	0,01	0,04	0,06
	15	0,01	0,04	0,06
	17	0,01	0,04	0,06

Figura 39. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 7745 (valores normalizados com o teor de lama).

Figura 40. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 7745.

Figura 41. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 7745.

Figura 42. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 7745.

Tabela 8. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 7745.

Testemunho	Amostra	F.E. Pb	F.E. Cu	F.E. Zn
7745	1	0,02	0,05	0,07
	2	0,02	0,05	0,07
	3	0,02	0,05	0,07
	4	0,01	0,04	0,06
	5	0,01	0,04	0,06
	6	0,01	0,05	0,06
	7	0,01	0,05	0,07
	8	0,01	0,04	0,06
	9	0,02	0,04	0,07
	10	0,01	0,04	0,07
	11	0,01	0,04	0,06
	12	0,01	0,04	0,06
	13	0,01	0,05	0,06
	14	0,01	0,05	0,07
	15	0,01	0,05	0,07
	16	0,01	0,04	0,06
	17	0,01	0,04	0,06
	18	0,01	0,04	0,06
	20	0,01	0,04	0,06

Figura 43. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 6678 (valores normalizados com o teor de lama).

Figura 44. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 6678.

Figura 45. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 6678.

Figura 46. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 6678.

Tabela 9. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 6678.

Testemunho	Amostra	F.E. Pb	F.E. Cu	F.E. Zn
6678	2	0,02	0,04	0,06
	4	0,02	0,04	0,06
	6	0,02	0,04	0,05
	8	0,02	0,03	0,18
	10	0,02	0,04	0,06
	12	0,02	0,03	0,06
	14	0,01	0,04	0,11
	16	0,01	0,04	0,06
	18	0,01	0,03	0,05
	20	0,02	0,03	0,05
	23	0,02	0,03	0,05
	26	0,02	0,03	0,05

Figura 47. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 6669 (valores normalizados com o teor de lama).

Figura 48. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 6669.

Figura 49. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 6669.

Figura 50. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 6669.

Tabela 10. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 6669.

Testemunho	Amostra	F.E. Pb	F.E. Cu	F.E. Zn
6669	2	0,02	0,04	0,07
	4	0,02	0,04	0,06
	6	0,03	0,04	0,06
	8	0,02	0,04	0,06
	10	0,02	0,03	0,06
	12	0,02	0,03	0,06
	14	0,02	0,04	0,09
	16	0,02	0,04	0,07
	18	0,02	0,03	0,06
	20	0,02	0,04	0,06
	24	0,02	0,04	0,06
	26	0,01	0,04	0,06
	28	0,02	0,03	0,05
	30	0,02	0,03	0,06

Quanto aos teores de metais, os testemunhos apresentaram certa estabilidade de valores ao longo das colunas sedimentares. A partir das regressões lineares efetuadas, notou-se que o Pb e o Zn apresentaram comportamentos com

tendências semelhantes, com exceção do testemunho 6669. Já o Cu apresentou um comportamento mais diferenciado.

O testemunho 7744 apresentou tendência à diminuição dos teores destes metais, sendo que o pico de Zn visto na profundidade de 11 cm pode ter duas explicações: ou de fato, é um pico anômalo, indicando a entrada de uma quantidade diferenciada em Zn ou ocorreu aí algum erro analítico.

O testemunho 7745 apresentou uma tendência, menos acentuada, de diminuição de teores de metais em direção ao topo do testemunho. O metal Cu apresentou aumento de teor rumo ao topo. A camada de superfície atual mostrou também um ligeiro aumento dos teores de Pb e Zn.

O testemunho 6678 apresentou aumento de teores para os três metais estudados neste trabalho, da base para o topo, até a profundidade de 2 cm (para o Zinco até a profundidade de 8 cm), diminuindo rumo à atual superfície de fundo.

O testemunho 6669 apresentou os menores teores de metais em todos os testemunhos e as menores variações em termos de linha de tendência na análise de regressão linear, muito possivelmente por apresentar os maiores teores de areia.

A análise do Fator de Enriquecimento dos metais pode ser feita com o uso dos valores usados por Grousset *et al.* (1995 apud Santos e Baptista Neto, 2009). Estes autores afirmam que em função da variabilidade natural, considera-se que $0,5 \leq FE \leq 2$ como oriundos de contribuição natural, enquanto $FE > 2$ demonstra a contribuição antrópica ou de processos biológicos. Neste caso, todos os valores obtidos demonstram que a contribuição de metais na plataforma neste compartimento se ateve aos valores tidos como de contribuição natural, não mostrando contaminação humana.

5.2.2. Compartimento Isóbata de 100 metros - Porção Norte

O teor de metais dos testemunhos deste compartimento está apresentado nas figuras 51 a 63. Os fatores de enriquecimento de Pb, Cu, e Zn estão apresentados nas tabelas 11 a 13.

Figura 51. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 6735 (valores normalizados com o teor de lama).

Figura 52. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 6735.

Figura 53. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 6735.

Figura 54. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 6735.

Tabela 11. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 6735.

Testemunho	Amostra	F.E. Pb	F.E. Cu	F.E. Zn
6735	2	0,04	0,04	0,06
	4	0,02	0,00	0,07
	6	0,01	0,05	0,06
	8	0,02	0,05	0,06
	10	0,02	0,06	0,07
	12	0,01	0,05	0,07
	14	0,02	0,05	0,06
	16	0,01	0,04	0,06
	18	0,01	0,05	0,06
	20	0,01	0,06	0,06
	22	0,01	0,05	0,06
	24	0,01	0,04	0,06
	26	0,01	0,04	0,06
	28	0,01	0,04	0,06
	30	0,01	0,04	0,06

Figura 55. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 6740 (valores normalizados com o teor de lama).

Figura 56. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 6740.

Figura 57. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb (com pico máximo) no testemunho 6740.

Figura 58. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 6740.

Figura 59. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 6740.

Tabela 12. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 6740.

Testemunho	Amostra	F.E. Pb	F.E. Cu	F.E. Zn
6740	2	0,36	0,05	0,06
	4	0,01	0,03	0,06
	6	0,01	0,03	0,06
	8	0,01	0,04	0,06
	10	0,01	0,04	0,06
	12	0,01	0,04	0,06
	14	0,01	0,04	0,06
	16	0,01	0,04	0,06
	18	0,02	0,05	0,06
	20	0,01	0,03	0,06
	22	0,02	0,05	0,06
	24	0,01	0,04	0,06
	26	0,02	0,04	0,06
	28	0,01	0,04	0,06
	30	0,01	0,03	0,06

Figura 60. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 6746 (valores normalizados com o teor de lama).

Figura 61. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 6746.

Figura 62. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 6746.

Figura 63. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 6746.

Tabela 13. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 6746.

Testemunho	Amostra	F.E. Pb	F.E. Cu	F.E. Zn
6746	2	0,02	0,03	0,06
	4	0,01	0,03	0,06
	6	0,01	0,03	0,06
	8	0,01	0,03	0,06
	10	0,01	0,03	0,06
	12	0,01	0,03	0,06
	14	0,01	0,03	0,06
	16	0,02	0,03	0,06
	18	0,01	0,03	0,06
	20	0,01	0,03	0,06
	22	0,00	0,00	0,01

Neste compartimento, ocorreu uma distribuição dos metais mais irregular do que aquela vista para o compartimento sul. O testemunho 6735 apresentou teores de Pb e Cu se distribuindo em padrões muito diferentes daqueles vistos para o Zn, este também apresentando uma distribuição muito variada ao longo da coluna sedimentar.

Tanto o testemunho 6735 como o testemunho 6746 apresentam, para os três elementos, uma tendência de aumento do teor dos metais rumo ao topo.

Já o testemunho 6740 mostrou uma maior semelhança entre a distribuição de Cu e Zn, diferindo completamente do que havia sido visto neste compartimento. O elemento Pb mostrou muita homogeneidade ao longo da coluna sedimentar com aumento de teor junto ao topo. Já o Cu e o Zn apresentaram algumas oscilações, sendo difícil determinar alguma tendência de enriquecimento ou não destes metais. Este problema foi resolvido com a aplicação de uma análise de regressão linear, indicando que a estabilidade (pouca tendência de aumento ou diminuição dos teores metálicos) vista para o Pb também se repete para estes dois metais.

A análise do Fator de Enriquecimento dos metais, assim como no compartimento ao sul da ilha de São Sebastião mostrou valores baixos de enriquecimento de metais, indicando um estágio praticamente natural quanto à inserção antropogênica de metais nesta porção da plataforma continental.

5.2.3. Compartimento Isóbata de 500 metros

O teor de metais obtido do testemunho 6680 está ilustrado nas figuras 64 a 67 e na tabela 14.

Figura 64. Teor de Pb, Cu e Zn ao longo do testemunho 6680 (valores normalizados com o teor de lama).

Figura 65. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Pb no testemunho 6680.

Figura 66. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Cu no testemunho 6680.

Figura 67. Análise de Regressão Linear com linha de tendência para o elemento Zn no testemunho 6680.

Tabela 14. Fatores de enriquecimento (F.E.) de Pb, Cu, e Zn para o testemunho 6680.

Testemunho	Amostra	F.E. Pb	F.E. Cu	F.E. Zn
6680	2	0,02	0,03	0,05
	4	0,02	0,03	0,05
	6	0,01	0,02	0,05
	8	0,02	0,03	0,05
	10	0,02	0,03	0,05
	12	0,02	0,03	0,05
	14	0,02	0,03	0,05
	16	0,02	0,03	0,06
	18	0,02	0,03	0,06
	20	0,00	0,00	0,01

Quanto aos teores de Pb, Cu e Zn, o testemunho 6680 apresenta tendências muito semelhantes na concentração dos elementos metálicos, com maior similaridade entre o Cu e o Zn. Todos os três elementos apresentam tendência ao enriquecimento de teores em direção ao topo, o que não era exatamente o esperado, uma vez que esta área, devido à sua grande profundidade, funcionaria como um ponto de controle para obtenção de background regional.

O Fator de Enriquecimento de metais, mais uma vez, não mostrou contribuição antropogênica nesta porção da margem continental.

5.3. Taxa de Sedimentação

Antes do cálculo da taxa de sedimentação, foi feita uma análise com as medidas retiradas diretamente dos espectros obtidos na espectrometria gama. Cada um dos radionuclídeos medidos apresenta um pico de energia, no qual é medida a área total (*Gross área* conhecida como G) e a área corrigida (que aqui será chamada de área N), que nada mais do que a subtração do background (a radiação emitida pelo pote onde está armazenada a amostra, por exemplo) da área total.

Figura 68. Cópia da tela do software Maestro (fabricado pela ORTEC) mostrando em detalhe um pico de Európio 154, onde a área em azul clara rodeado pela forma ovalada em vermelho é a área G e a porção em verde escuro é a área N (ORTEC, 2010).

A escolha por trabalhar com áreas N e G dos picos estudados reside justamente na abundância dos elementos presentes na amostra. O radioisótopo ^{210}Pb apresenta-se em grande quantidade permitindo que os dados obtidos na área N sejam bastante confiáveis. Já o ^{137}Cs exibe pequena quantidade, muitas vezes não chegando a formar um pico perfeitamente individualizável, o que torna os dados da área G mais confiáveis neste caso.

Um primeiro estudo efetuado com estes dados foi verificar se ocorre percolação do ^{210}Pb pela coluna sedimentar, o que nitidamente não ocorreu uma vez

que os dados mais altos de leitura do espectro estão sempre situados na superfície. Se houvesse percolação seriam encontrados, muito provavelmente, níveis com áreas N maiores que os da superfície.

Um segundo estudo efetuado com estes dados foi verificar onde ocorre uma maior deposição dos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs na superfície de fundo atual (Tabela 15).

Tabela 15. Valores de ^{210}Pb N e ^{137}Cs G existentes na superfície de fundo atual.

Testemunho	Profundidade (m)	Teor de Lama (%)	Classificação Shepard (1954)	Tempo de medição (seg.)	^{210}PbN	^{137}CsG
7353	38,5	82%	Silte arenoso	120.000	1208	1068
7237	37	92,4%	Silte argiloso	120.000	1470	769
7744	97	54,21%	Silte arenoso	120.000	3470	3693
7745	94	95,5%	Silte	120.000	3623	1583
6678	100	49%	Areia siltica	120.000	2829	781
6669	102	14%	Areia	120.000	1986	814
6735	102	81,4%	Predomínio de silte arenoso	120.000	2760	789
7373	126	95,2%	Silte	120.000	2685	388
6740	99	92,5%	Silte	120.000	987	714
6746	100	76,8%	Silte arenoso	120.000	2051	867
6670	503	92,4%	Silte	120.000	2021	757
6680	458	79%	Silte (base) passando a silte arenoso (topo)	120.000	3054	773

Os valores encontrados para ^{210}Pb no setor da plataforma interna estudada são significativamente menores que aqueles encontrados na isóbata de 100 metros. Já no caso do ^{137}Cs , o valor encontrado para o testemunho 7353 é um dos mais altos medidos na área de estudo como um todo.

Os maiores valores de deposição de ambos radionuclídeos estão situados na isóbata de 100 metros, em especial nos testemunhos mais ao sul da área de estudo. Os testemunhos 7744 e 7745 apresentam os valores de ^{210}Pb e ^{137}Cs medidos. Os demais testemunhos apresentam valores bastante similares. As exceções estão, no caso do ^{210}Pb , nos testemunhos 6669 e 6740, que apresentam valores bem mais baixos que a média encontrada por toda a isóbata. Já para o ^{137}Cs , o valor mais baixo medido foi no testemunho 7373.

O compartimento situado a 500 metros mostra uma situação bem interessante, uma vez que os valores de ^{210}Pb são bastante diferentes nos testemunhos 6670 e 6680. O testemunho 6680 apresenta valores de ^{210}Pb muito compatíveis àqueles encontrados na isóbata de 100 metros. Já em relação ao ^{137}Cs , os valores encontrados para ambos os testemunhos são bastante similares, e compatíveis com aqueles encontrados na isóbata de 100 metros. De um modo geral, os valores encontrados de ^{210}Pb e ^{137}Cs diminuem rumo às profundidades maiores.

As taxas de sedimentação encontradas nos testemunhos estão apresentadas na tabela 16 e um exemplo da planilha de cálculo (testemunho 7237) está no Anexo 03.

Para o cálculo da taxa de sedimentação, é necessária a confecção de um gráfico que mostre a relação entre o Ln (logaritmo neperiano) de ^{210}Pb - ^{226}Ra e a profundidade de coleta da amostra estudada. A partir deste gráfico, é feita uma análise de regressão linear, que resulta em um número R^2 . Este número, quanto mais próximo ficar do valor 1, aponta uma melhor relação entre os dois parâmetros. No caso dos testemunhos deste trabalho, os valores de R^2 ficaram sempre bastante próximos de 1 (um exemplo está na Figura 69, do testemunho 6740) mostrando que os valores se ajustam bem a este tipo de modelo.

Figura 69. Diagrama da relação $\text{Ln } ^{210}\text{Pb}-^{226}\text{Ra}$ (eixo y) e a profundidade em centímetros (eixo x) para a estação 6740.

Tabela 16. Taxas de sedimentação dos testemunhos estudados segundo os radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs .

Compartimento	Testemunho	Lat (S)	Long (W)	Prof. (m)	CIC 210Pb (cm/ano)	^{137}Cs (cm/ano)
Costeiro	7237	-23,91	-45,21	37	0,4947	0,4103
	7353	-23,82	-45,2	38,5	0,1186	0,1191
Isóbata 100m - Sul	6678	-24,77	-45,19	100	0,1502	0,1714
	7744	-25,39	-46,31	97	0,2619	0,2807
	7745	-25,04	-45,69	94	0,3635	0,2381
Transição	6669	-24,13	-44,71	102	0,2370	0,2857
Isóbata 100m – Norte	6735	-23,75	-44,07	102	0,2339	0,2286
	6740	-23,43	-43,43	99	0,2631	0,2857
	6746	-23,31	-42,88	100	0,4630	0,4000
	7373	-23,95	-44	126	0,3254	0,3691
Isóbata 500m	6670	-24,69	-44,38	503	0,0405	0,0571
	6680	-25,25	-44,88	458	0,2630	0,2940

Uma constatação possível de ser feita, com base na tabela 14, é a grande similaridade encontrada entre os resultados de taxa de sedimentação obtidos a partir do ^{210}Pb e do ^{137}Cs , em todos os compartimentos estudados. Este fato corrobora os valores obtidos e respeita a necessidade de confirmação dos dados feita por diversos autores (Nittroeur *et al.*, 1979; Smith, 2001).

5.3.1. Compartimento Costeiro

A taxa de sedimentação de ambos os testemunhos apresentou diferenças significativas quando comparados os valores entre si, cujos valores médios são de 0,50cm/ano (^{210}Pb) e 0,41cm/ano (^{137}Cs) para o testemunho 7237 e de 0,12cm/ano (^{210}Pb e ^{137}Cs) para o testemunho 7353.

Olhando a localização de ambos os testemunhos (7237 e 7353), nota-se que o testemunho 7353 está em um estreito, entre as ilhas de São Sebastião e Búzios, onde as correntes devem ter maior poder de remobilização, diferente do testemunho 7237, localizado próximo à Ilha de São Sebastião, em área mais aberta. Esta diferença de localização pode ser a explicação da diferença entre as taxas de sedimentação encontradas.

5.3.2. Compartimento Isóbata de 100 metros - Porção Sul

As taxas de sedimentação deste compartimento variam entre 0,15cm/ano (testemunho 6678) a aproximadamente 0,36cm/ano (testemunho 7745), sendo que estas taxas foram obtidas tanto para o ^{210}Pb como para o ^{137}Cs .

Estas taxas apresentaram valores com ordens de grandeza bastante próximas, indicando que o aporte de terrígenos não difere muito neste trecho da plataforma. A maior taxa, medida com ^{210}Pb , foi obtida diante da Baía de Santos, e a menor na plataforma adjacente entre a Baía de Santos e a ilha de São Sebastião. As taxas de sedimentação do testemunho de transição (6669) estão muito similares àquelas obtidas para o extremo sul estudado (testemunho 7744), embora as granulometrias sejam bastante distintas.

5.3.3. Compartimento Isóbata de 100 metros - Porção Norte

As taxas de sedimentação deste compartimento variam entre 0,23cm/ano (testemunho 6735 e 6669) a aproximadamente 0,46cm/ano (testemunho 6746).

Estas taxas de sedimentação mostraram-se um pouco superiores àquelas verificadas para o compartimento sul desta mesma isóbata, implicando em uma

chegada pouco maior de sedimentos nesta região, em especial no testemunho 6746, que fica diante da Baía de Guanabara.

5.3.4. Compartimento Isóbata de 500 metros

As taxas de sedimentação neste compartimento tendem a ser bastante díspares entre si, ao contrário do visto nos compartimentos descritos anteriormente. O testemunho 6670 apresentou taxa de menos de 1mm/ano (inferior ao limite de confiabilidade dos métodos ^{210}Pb e ^{137}Cs) e o testemunho 6680 apresentou uma taxa de sedimentação média de 0,26cm/ano. A diferença entre as duas taxas de sedimentação ainda não foi entendida podendo ser resposta de sua localização, maior deposição carbonática ou mesmo de aporte diferenciado de sedimentos na região.

6. Discussão

De uma forma geral, a plataforma continental apresentou colunas sedimentares bastante homogêneas o que é um forte indicativo da persistência das condições hidrodinâmicas que controlam atualmente a dinâmica sedimentar da área no último século. As taxas de sedimentação obtidas foram relativamente baixas, da ordem de milímetros por ano, medidas pelos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs . Esta ordem de grandeza é bastante compatível com as taxas de sedimentação encontradas em outras margens continentais do mundo que recebem pouco ou nenhum aporte terrígeno atual (Zuo *et al.*, 1989; Lo e Fung, 1992; Hong *et al.*, 1997; Asmund e Nielsen, 2000; Othman *et al.*, 2000; Matthai *et al.*, 2001; Crusius *et al.*, 2004; Sombrito *et al.*, 2004; Al-Zamel *et al.*, 2005; Owen, 2005).

Estas taxas de sedimentação também são compatíveis com a radioatividade da plataforma continental brasileira, que é considerada baixa, quando comparada a outros locais do mundo, mesmo com a presença da Serra do Mar que possui minerais ricos em elementos radioativos como os óxidos de ferro (ilmenita e magnetita), zirconita e traços de monazita e outros sulfatos ricos em terras raras (Paschoa, 2000).

A forma de amostragem em diferentes intervalos de espessura não fez diferença para o cálculo das taxas de sedimentação, sendo que a melhor relação custo/benefício vista para a região da plataforma e do talude continental foi a amostragem do testemunho feita de 2 em 2 centímetros.

A taxa de sedimentação média na isóbata de 100 metros obtida neste trabalho é ligeiramente menor na porção ao sul da ilha de São Sebastião (0,29 cm/ano) do que na porção ao norte desta (0,32 cm/ano). Em ambas regiões, nota-se um ligeiro aumento nas taxas de sedimentação defronte do estuário de Santos (SP) e Baía da Guanabara (RJ).

Em profundidades maiores que 100 metros, onde o esperado eram taxas de sedimentação muito menores que aquelas vistas na plataforma externa, houve uma exceção. O testemunho 6680, localizado em cerca de 500 metros de profundidade,

apresentou taxas de sedimentação similares àquelas vistas para regiões mais rasas (isóbata de 100 metros). O testemunho 6670, situado à mesma profundidade, apresentou taxa de sedimentação da ordem de décimo de milímetro, mais compatível com os dados encontrados na literatura mundial para esta profundidade.

A Tabela 17 apresenta as taxas de sedimentação existentes na literatura para o Embaiamento São Paulo, mais próximas à região estudada neste trabalho, obtidas tanto pelo método do radiocarbono quanto pelos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs . A Figura 70 mostra a localização destas amostras.

Tabela 17. Taxas de sedimentação obtidas por radiocarbono e ^{210}Pb – ^{137}Cs no Embaiamento São Paulo.

Testemunho	Radio-nuclídeo	Lat (S)	Long (W)	Prof. (m)	Taxas de Sedimentação	Autor (es)
6692	^{14}C	-25,84	-46,95	100	0,028cm/ano	Tessler (2001)
6696	^{14}C	-25,57	-46,69	92	0,025cm/ano	Tessler (2001)
6700	^{14}C	-25,42	-46,37	100	0,022cm/ano	Tessler (2001)
6704	^{14}C	-25,24	-46,05	97	0,019cm/ano	Tessler (2001)
6683	^{14}C	-25,06	-45,54	100	0,020cm/ano	Tessler (2001)
6651	^{14}C	-25,90	-45,71	268	0,008cm/ano	Tessler (2001)
6652	^{14}C	-25,85	-45,80	206	0,004cm/ano	Tessler (2001)
6653	^{14}C	-25,72	-46,05	145	0,006cm/ano	Tessler (2001)
6654	^{14}C	-25,47	-46,59	90	0,15cm/ano	Tessler (2001)
6670	^{210}Pb	-24,69	-44,38	503	0,17cm/ano	Tessler (2001)
6700	^{210}Pb	-25,42	-46,37	100	0,17cm/ano	Tessler (2001)
6692	^{210}Pb	-25,84	-46,95	100	0,26cm/ano	Tessler (2001)
6539	^{14}C	-23,08	-41,98	98	0,018cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6541	^{14}C	-23,60	-41,71	143	0,006cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6542	^{14}C	-23,95	-41,61	1226	0,005cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6553	^{14}C	-23,82	-42,79	227	0,0005cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6554	^{14}C	-23,89	-42,76	496	0,005cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6561	^{14}C	-23,70	-44,00	99	0,009cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6573	^{14}C	-24,91	-44,62	201	0,001cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6625	^{14}C	-24,48	-43,62	980	0,0019cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)

6626	^{14}C	-24,23	-43,75	205	0,0038cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6627	^{14}C	-23,97	-43,88	133	0,0097cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6664	^{14}C	-24,45	-44,17	472	0,0054cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6669	^{14}C	-24,13	-44,71	102	0,0106cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6670	^{14}C	-24,69	-44,38	503	0,0037cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6678	^{14}C	-24,77	-45,19	100	0,0054cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
6680	^{14}C	-25,25	-44,88	258	0,001cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (2002)
7620	^{14}C	-22,94	-41,98	44	0,040 cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)
6952	^{14}C	-23,01	-41,93	58	0,030cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)
6951	^{14}C	-23,01	-41,97	60	0,025cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)
6953	^{14}C	-23,05	-41,90	73	0,030cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)
6954	^{14}C	-23,05	-41,95	78	0,031cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)
7610	^{14}C	-25,51	-46,64	89	0,028cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)
6949	^{14}C	-23,05	-42,01	92	0,027cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)
7605	^{14}C	-25,57	-46,69	92	0,013cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)
6704	^{14}C	-25,24	-46,05	97	0,023cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)
7616	^{14}C	-25,10	-45,64	100	0,033cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)
6950	^{14}C	-23,07	-41,98	101	0,039cm/ano	Mahiques <i>et al.</i>

						(aprovado para publicação)
6956	^{14}C	-23,15	-41,90	118	0,018cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)
6630	^{14}C	-25,82	-45,30	485	0,021cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)
6688	^{14}C	-26,15	-47,22	100	0,025cm/ano	Mahiques <i>et al.</i> (aprovado para publicação)

Figura 70. Localização dos testemunhos estudados em relação à Taxa de sedimentação pelos métodos ^{210}Pb e ^{14}C .

Uma análise rápida neste conjunto de dados mostra que Figueira *et al.* (2006) e Santos *et al.* (2008) estavam corretos ao afirmar que as taxas de sedimentação obtidas pelos métodos ^{14}C e $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ apresentam uma ordem de grandeza de diferença, justamente por medirem períodos temporais diferentes. Os radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs , além das limitações já colocadas no capítulo 2 deste trabalho em especial por Nitttrouer *et al.* (1979), abordam somente a porção superior

dos testemunhos, abrangendo como máximo um período de 150 anos. Já o radiocarbono abrange idades superiores a 400 anos, sendo normalmente mais utilizado em escala milenar e tem sido o principal instrumento utilizado para cálculo das taxas de sedimentação dos depósitos sedimentares holocênicos nas atuais margens continentais (Arz *et al.*, 1999 a e b; Tessler, 2001; Mahiques *et al.*, 2002).

Toldo *et al.* (2000), em estudo de taxas de sedimentação na Lagoa dos Patos (RS), determinaram que as taxas de sedimentação obtidas por ^{14}C eram muito compatíveis com as primeiras projeções obtidas através de estudos sismo-litoestratigráficos, entretanto estes autores interpretaram as taxas de sedimentação obtidas por $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$, dez vezes maiores que aquelas obtidas por ^{14}C , como resultado das intervenções humanas no último século, como por exemplo, a retirada de vegetação das bacias de drenagem que deságuam na Lagoa dos Patos.

Cabem aqui algumas considerações sobre o método de determinação de taxas de sedimentação por radiocarbono. Dentre todos os métodos geocronológicos utilizados para a obtenção de datações absolutas ao longo do Holoceno, o mais comum é o método isotópico baseado no ^{14}C (Trumbore, 2000), também conhecido como método do radiocarbono, cuja meia vida é de 5730 ± 40 anos.

O radiocarbono se forma nas porções inferiores da estratosfera, através do impacto dos átomos de ar com os raios cósmicos que combinados com os átomos de ^{14}N originam os átomos de ^{14}C (Trumbore, 2000). Este átomo de ^{14}C combina-se com o oxigênio do ar dando, como resultado, o CO_2 que se distribui pela atmosfera e hidrosfera, sendo absorvido pelos seres vivos através de trocas metabólicas. Com a morte dos organismos, inicia-se a desintegração do radiocarbono absorvido pela forma vivente e, através de medidas do teor residual de ^{14}C , obtidas pela medição da intensidade de emissão dos raios beta emitidos no processo de desintegração, pode-se calcular o tempo decorrido após a morte do organismo (Tessler, 2001).

Medidas de ^{14}C foram utilizadas pela primeira vez como método de datação por Libby em 1955 (Suguio, 1999). Com o aprimoramento do método (técnica AMS) foi possível se extrair ^{14}C diretamente da matéria orgânica dispersa em seqüências sedimentares rasas de ambientes aquáticos atuais.

A aplicabilidade do método de datação por ^{14}C é limitada por diversos fatores:

- a) A variação do ^{14}C no CO_2 atmosférico, no passado, pois se sabe que não houve equilíbrio entre a radioatividade específica do CO_2 atmosférico e biosférico (Suguio, 1999).
- b) A uniformidade do teor de radiocarbono na superfície terrestre não se mostrou verdadeira, mostrando que os teores de radiocarbono não são constantes nos elementos que compõem a atmosfera, a biosfera e a atmosfera (Suguio, 1999).
- c) A ocorrência de contaminação por, por exemplo, infiltração de ácidos orgânicos, evidenciando trocas posteriores entre o carbono da amostra e do meio ambiente (Suguio, 1999).
- d) A própria seleção da amostra no campo para a datação (Trumbore, 2000).

Por todos estes fatores, o intervalo de aplicabilidade do método de datação baseado no ^{14}C é geralmente estabelecido entre 100 e 55.000 anos, sendo que a sua precisão é variável dependendo da escala de calibração utilizada para conversão dos anos ^{14}C em idades relacionadas ao tempo decorrido entre o presente e o passado. Apenas a partir de 1963, o ano de máxima produção de ^{14}C , pelos testes nucleares, o conteúdo de ^{14}C das amostras puderam ser comparadas com a curva atmosférica do ^{14}C . Para períodos anteriores, as calibrações baseiam-se em pressupostos diversos, como os registros calibrados dos anéis de árvores (Tessler, 2001).

6.1. Compartimento Costeiro da Ilha de São Sebastião

Os testemunhos 7237 e 7353, apesar de espacialmente próximos na plataforma continental interna, refletem condições ambientais muito distintas no que tange à sedimentação.

Em ambos os testemunhos predomina a sedimentação de lamas, corroborando que a plataforma interna adjacente à Ilha de São Sebastião é uma área de deposição de sedimentos finos, provavelmente devido à presença de várias

ilhas, que formam um anteparo natural à ação de ondas e ventos mais intensos (Furtado *et al. in* Pires-Vanin, 2008). A areia terrígena que chega nesta região marinha é muito possivelmente produto do aporte sedimentar atual oriundo da Ilha de São Sebastião, sendo composta por produtos resultantes do processo de lixiviação dos costões pela chuva e pelo aporte das drenagens existentes na ilha (Barcellos e Furtado, 1996; Furtado *et al. in* Pires-Vanin, 2008).

Os trabalhos de Castro Filho (1996) e de Silva *et al.* (2004) apontam, na região externa ao Canal de São Sebastião, o predomínio anual das correntes com rumo SW, com velocidade média de 0,20m/s em superfície, com picos no verão de até 0,88m/s (Figuras 71A, 71B e 71C). Somente durante o outono, o predomínio destas correntes se inverte e estas percorrem a costa da ilha com sentido NE, com velocidade média de 0,10m/s e picos de 0,30m/s (Figura 72).

Figuras 71 A, B, C – Estudo numérico das correntes superficiais ao longo da Ilha de São Sebastião durante a Primavera, o Verão e o Inverno (Silva *et al.*, 2004). As velocidades marcadas são as máximas obtidas no estudo no período.

Figura 72. Estudo numérico das correntes superficiais ao longo da Ilha de São Sebastião durante o Outono (Silva *et al.*, 2004). As velocidades marcadas são as máximas obtidas no estudo no período.

Castro Filho *et al.* in Pires-Vanin (2008) mostram que materiais siliciclásticos (e possivelmente metais e poluentes) provenientes de sul, em especial do Estuário Santista podem ser carregados por estas correntes com sentido NE, sendo uma fonte de aporte extra para esta área, justificando o aporte continental na porção sul da ilha de São Sebastião. Ao norte da ilha de São Sebastião, foi mapeada a presença de vórtices explicados pela presença da ACAS, o que poderia intensificar as correntes ao nível local (Castro Filho, 1996; Castro Filho *et al.* in Pires-Vanin (2008).

O testemunho 7353 está localizado em um trecho entre as ilhas de São Sebastião e Búzios, onde a taxa de sedimentação é de 0,12cm/ano. A variação de granulometria deste testemunho, embora não seja de grande monta, pode representar variações sazonais no regime de sedimentação deste local, com uma tendência geral de redução de energia neste ponto. A pequena quantidade de drenagens neste ponto da costa da ilha de São Sebastião pode ser a responsável pela baixa contribuição atual de terrígenos neste local. O mais provável é que a carga de sedimentos terrígenos disponíveis para deposição atual esteja em suspensão, carregados pelas correntes marinhas locais, que seguem os padrões

descritos acima por Castro Filho (1996) e de Silva *et al.* (2004). Esta ausência de sedimentação terrígena poderia explicar o aumento da deposição de lama carbonática, embora seja muito difícil afirmar se esta lama está sendo transportada de outro ponto da plataforma, ou se é deposição direta no local, sem transporte prévio.

Quando as correntes possuem rumo SW, o fluxo principal destas correntes acaba passando mais ao largo da ilha de São Sebastião e ficam mais enfraquecidas neste ponto, devido à proteção efetuada pelas ilhas de Búzios, Vitória e São Sebastião. Segundo o modelo obtido por Silva *et al.* (2004), o único período no qual este ponto poderia ser mais atingido pelas correntes seria no inverno, que talvez remobilize mais os sedimentos deste local. Já sob ação das correntes com rumo NE, a própria ilha de São Sebastião, com seus pontões cristalinos situados na sua porção sul, resguardaria este ponto da sua costa. Rodrigues (2009) afirma que a porção mais ao norte da ilha de São Sebastião está localizada em uma área de sombra para a ação dos sistemas atmosféricos provenientes de sul. Ambas as situações acabam desviando a maior parte das plumas com material em suspensão, permitindo somente a deposição de parte deste material, o que poderia explicar a baixa taxa de sedimentação neste local.

O testemunho 7237, localizado próxima à ponta da Pirassununga (ao sul da Enseada de Castelhanos) apresenta uma taxa de sedimentação mais elevada (0,4 a 0,5 cm/ano), indicando que neste local a sedimentação é mais efetiva. No caso das correntes com rumo SW, em todos os períodos do ano, haveria a deposição de material sedimentar aumentada pela contribuição das drenagens situadas na Enseada dos Castelhanos, sendo que somente na praia de Castelhanos existem duas drenagens de pequeno porte (uma em cada extremo da praia). Em períodos de maior pluviosidade, estas drenagens contribuem com uma grande quantidade de sedimentos e matéria orgânica (Barcellos, 2000) (Figura 73).

Figura 73. Praia de Castelhanos (situada em enseada homônima), na Ilha de São Sebastião, após a passagem de um sistema frontal de forte intensidade. Os detritos vegetais vistos tanto na calha do rio como na praia são oriundos das drenagens locais, que deslocaram também bastante material sedimentar (Foto: Barcellos, 2000).

Rodrigues *et al.* (2002) afirma que as enseadas do litoral norte paulista apresentam circulação anti-horária de águas oceânicas, o que levaria todo o material oriundo da Enseada de Castelhanos para uma região próxima ao local onde foi coletado o testemunho 7237. Segundo os estudos numéricos efetuados por Silva *et al.* (2004), seria neste local onde o material da Enseada dos Castelhanos se

encontraria com um dos fluxos da corrente que passa ao largo da ilha de São Sebastião e, provavelmente, provocaria uma maior deposição devido ao encontro destes dois fluxos. Zanardi *et al.* (1999) e Bicego *et al. in* Pires-Vanin (2008) encontraram, em pontos muito próximos deste testemunho, grandes concentrações de hidrocarbonetos alifáticos (em especial C29 e C30), indicando aporte de material terrígeno nesta porção da plataforma continental interna.

Esta maior deposição possivelmente se reflete na diminuição do teor de carbonatos biodetríticos deste local e também na granocrescência ascendente vista no testemunho, uma vez que sedimentos mais grossos, trazidos em períodos mais chuvosos, podem atingir este ponto da plataforma.

O aporte dos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs em ambos testemunhos mostrou-se relativamente similar quanto ao ^{210}Pb mas em relação ao ^{137}Cs , este aporte foi bastante diferente, sendo maior no testemunho 7353. Como o aporte de ^{137}Cs é exclusivamente por *fallout* atmosférico, pode ocorrer alguma alteração na deposição em virtude do regime de ventos locais controlados pelo relevo da Ilha de São Sebastião.

Locais como a plataforma continental interna de São Sebastião, especificamente em sua porção exposta ao oceano, não são facilmente encontrados em outros locais do mundo justamente por suas características geomorfológicas e oceanográficas diferenciadas. Outras plataformas continentais internas estudadas apresentam características muito distintas daquelas encontradas na plataforma interna adjacente à ilha de São Sebastião sendo geralmente localizadas em mares restritos (Mar Mediterrâneo no sul da costa catalã - Sanchez-Cabeça *et al.*, 1999) e/ou associadas a alguma desembocadura fluvial de maior porte (por exemplo os rios Ródano - Lansard *et al.*, 2008; Atchafalaya-Mississipi - Allison *et al.*, 2000; Amazonas - Kuehl *et al.*, 1982, 1986a, 1986b, 1989; Pardo e Jequitinhonha - Patchineelam e Smoak, 1997, 1999; Smoak e Patchineelam, 1999). Nestes locais, a taxa de sedimentação foi da ordem de vários centímetros por ano, mas a comparação com a plataforma interna de São Sebastião não é significativa por serem ambientes totalmente distintos, com aportes sedimentares muito diferentes.

A baía de Biscaya, estudada por Lesuer *et al.* (2001), apresenta contribuição de pequenos rios assim como a Ilha de São Sebastião, porém não existe a presença das variadas ilhas que alteram a dinâmica de sedimentação local, e tanto a energia dos trens de ondas incidentes como das correntes marítimas são muito maiores do que aquelas encontradas no litoral sudeste brasileiro. Mesmo com estas diferenças, tanto a enseada de Castelhanos como a baía de Biscaya mostram que a influência de pequenas drenagens quanto ao aporte de sedimento, ao nível local, é bastante significativa e a taxa de sedimentação encontrada foi de 0,5 cm/ano, bastante similar com aquela encontrada no testemunho 7237.

Andrade (2002) encontrou taxa de sedimentação de aproximadamente 0,125 cm/ano, obtida com as atividades de ^{210}Pb medidas com espectrometria gama, em um testemunho na Enseada da Fortaleza (litoral norte do Estado de São Paulo). Justamente pela maior proximidade geográfica com a Ilha de São Sebastião e pelo uso da mesma metodologia de determinação de taxa de sedimentação, este estudo é o que mais aproxima das condições encontradas na plataforma interna adjacente à Ilha de São Sebastião. Muita cautela, entretanto, deve ser mantida devido ao fato de que as orientações da Baía de Castelhanos e da Enseada da Fortaleza são muito distintas no que tange à orientação destes locais frente aos trens incidentes de sul ou mesmo de leste. Outro ponto que pede cautela na comparação de dados é que Andrade (2002) calculou a taxa de sedimentação desta enseada com base no estudo de somente um testemunho, o que não representa a realidade da enseada como um todo. A taxa de sedimentação neste local (0,13 cm/ano) indica que, neste ponto da Enseada da Fortaleza, assim como no testemunho 7353 não ocorre aporte sedimentar significativo.

Neste compartimento, os radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs apresentaram valores de taxa de sedimentação muito semelhantes entre si e aparentemente foram sensíveis o bastante para mostrar diferenças nos regimes de sedimentação entre dois pontos muito próximos da ilha de São Sebastião. Esta sensibilidade do método indicou diferenças no processo de sedimentação e potencialidade de fornecimento de fonte terrígena, validando assim este método para obtenção de taxas de sedimentação para a plataforma continental interna desta região. A comparação com

o método do radiocarbono não pode ser feita devido à ausência de trabalhos com dados de ^{14}C para esta área.

Vale ressaltar que esta área é diferenciada em relação ao restante do litoral paulista e estes dados são válidos somente para os pontos estudados, não podendo ser extrapolados para o restante da plataforma continental interna como um todo.

6.2 Compartimento Isóbata de 100 metros

Tanto no compartimento norte como no compartimento sul, a tendência principal dos sedimentos é ter origem litoclástica, sendo que somente dois testemunhos obtiveram taxas significativas de sedimentos carbonáticos. Este dado é concordante com os dados obtidos na literatura (Rodrigues *et al.*, 2003) que apontam ser esta uma região de predomínio de sedimentação terrígena.

A área medida dos picos dos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs mostraram os valores mais altos, apontando que é nesta isóbata onde ocorre a maior deposição de radionuclídeos, o que pode indicar taxas maiores de sedimentação atual de finos, pois estes carregam consigo as partículas de radionuclídeos.

6.2.1 Compartimento Isóbata de 100 metros ao sul da Ilha de São Sebastião

Este compartimento, embora localizado ao sul da ilha de São Sebastião e estudado como uma área única, não se mostrou como uma unidade homogênea em termos sedimentológicos (textura e composição) e taxa de sedimentação. Ele ainda pode ser subdividido em 3 partes, de acordo com a distância da Ilha de São Sebastião: a mais distal (testemunhos 7744 e 7745), intermediária (testemunho 6678) e proximal (testemunho 6669).

A distribuição irregular do material sedimentar, vista neste compartimento, é provavelmente resultado da ação do meandramento da Corrente do Brasil, fazendo com que as taxas de sedimentação fossem maiores nos trechos menos afetados

pelo fluxo mais intenso da corrente (Mahiques *et al.*, 2002, 2004, 2008; Möller Jr. *et al.*, 2008 e Campos *et al.*, 2008; Castro Filho *et al. in* Pires-Vanin, 2008).

A unanimidade deste compartimento foi em relação aos metais, que embora pontualmente tenham apresentado comportamentos distintos, na análise do Fator de Enriquecimento, mostraram sedimentos de plataforma não contaminados, indicando que o excesso de metais existente na região costeira, não atinge a plataforma externa, ao contrário do que foi visto em Tessler (2001) onde uma pequena quantidade de metais com assinaturas isotópicas das minas do Vale do Ribeira estavam assentados na plataforma continental, em especial na isóbata de 100 metros, trazidos pelo Rio Ribeira de Iguape.

A maioria dos testemunhos efetuados nesta área mostra o predomínio de sedimentos litoclásticos, com exceção do testemunho 6678, classificado como biolitoclástico (Larsonneur, 1982). Este testemunho está situado muito próximo ao limite interno de um cinturão de sedimentos carbonático localizado na plataforma externa, aproximadamente paralelo à costa, que se estende de proximidades da Ilha de São Sebastião até o Cabo Frio. (Mahiques *et al.*, 1999; Rodrigues *et al.*, 2003).

Os testemunhos 7744 e 7745 podem ser descritos de uma forma conjunta por terem sido coletados em locais com relevos semelhantes, além de apresentarem o predomínio do mesmo tipo de sedimentos (lamas siliciclásticas) e também de diminuição do diâmetro médio em direção ao topo, apesar da diferença em termos granulométricos (o testemunho 7744 é mais arenoso que o 7745) e de taxa de sedimentação obtida pelo ^{210}Pb . O testemunho 7745 apresentou ainda uma concentração de hidrocarbonetos aromáticos (PAHs), em especial na camada entre 3 a 4 cm (aproximadamente $300 \mu\text{g.g}^{-1}$). Em superfície, a medição de PAHs foi de aproximadamente $100 \mu\text{g.g}^{-1}$ (Figura 74). Esta camada também apresenta concentrações mais altas de mirex ($5,01 \text{ ng.g}^{-1}$ peso seco), que são pesticidas organoclorados (Bícego *et al.*, 2009).

Figura 74. Medições de Hidrocarbonetos Aromáticos (PAHs) efetuadas na superfície de fundo atual da plataforma continental durante o projeto ECOSAN. O testemunho 7745 corresponde ao testemunho numerado como #12 e o testemunho 7744 corresponde ao de número #21. Os demais testemunhos (#7 e #9) que apresentaram concentrações mais altas de PAHs estão situados junto à costa, em proximidades das áreas antiga e atual de descarte da dragagem do canal do Porto de Santos. (Fonte: Bicego et. al., 2007).

Em relação às taxas de sedimentação, o testemunho 7745 apresentou alguma diferença entre as taxas de sedimentação obtidas por ^{210}Pb (0,36cm/ano) e ^{137}Cs (0,24cm/ano). De um modo geral, quando ocorrem diferenças entre as taxas de sedimentação, existe uma tendência de considerar àquela obtida pelo ^{210}Pb como mais correta no litoral brasileiro (Figueira, *com. pessoal*) pela precisão do método, que é maior no caso do ^{210}Pb e também pela baixa quantidade de ^{137}Cs existente no Hemisfério Sul. Considerando esta taxa de sedimentação mais alta como a mais próxima da realidade, este seria o ponto com maior sedimentação na parte sul, entre Santos e a Ilha de São Sebastião, na isóbata de 100 metros, situado defronte ao Estuário Santista. As demais taxas de sedimentação apontam para uma diminuição na sedimentação em direção à ilha de São Sebastião. Tessler (2001), ao sul da área estudada neste trabalho, aponta que as taxas de sedimentação são mais altas justamente na isóbata de 100 metros, em um ponto entre a desembocadura sul do Sistema Cananéia-Iguape e a Baía de Paranaguá (taxa de sedimentação de

0,26cm/ano, com ^{210}Pb) . De frente ao Estuário Santista, também na isóbata de 100 metros, também com o uso de ^{210}Pb , Tessler (2001) encontrou taxas de sedimentação de 0,17cm/ano. Estas taxas obtidas por Tessler (2001), quando comparadas às obtidas neste trabalho, mostraram-se praticamente com o mesmo valor.

Este aumento da taxa de sedimentação diante da saída do Estuário Santista é corroborado também pelo trabalho de Mahiques *et al.* (aprovado para publicação), que com o uso do método de datação por ^{14}C , obtiveram, nesta mesma região (aproximadamente na frente da desembocadura do Estuário Santista, na isóbata de 100 metros), uma taxa de sedimentação mais elevada. Esta comparação é importante, guardadas as devidas diferenças de ordem de grandeza a mais para os dados encontrados pelo ^{210}Pb (Figueira *et al.*, 2006; Santos *et al.* (2008), por indicarem uma mesma tendência no processo de sedimentação atual.

O testemunho 7744, cujas taxas de sedimentação obtidas por ^{210}Pb (0,26cm/ano) e ^{137}Cs (0,28cm/ano) foram muito similares, também foram compatíveis com os dados encontrados por Mahiques *et al.* (aprovado para publicação), mantendo a mesma diferença de uma ordem de grandeza entre os dados de ^{210}Pb e ^{14}C .

A presença de ^{210}Pb e ^{137}Cs em todos os testemunhos litoclásticos indicam sedimentação atual de material fino, o que remete imediatamente à busca pela fonte destes sedimentos, uma vez que as drenagens atuais, isoladamente, não responderiam à taxa de sedimentação observada na plataforma externa. Outro fator que depõe contra o aporte exclusivo dos rios existentes nesta porção do litoral brasileiro é a sua pequena expressão em termos de vazão e a grande largura da plataforma continental neste trecho da costa brasileira.

O aporte de material fino mais recente pode corroborar os trabalhos de Stevenson *et al.* (1998), Mahiques *et al.* (2004, 2008, 2010), Möller Jr. *et al.* (2008) e Campos *et al.* (2008) que reestudando a hidrodinâmica e o aporte de sedimentos terrígenos a partir de parâmetros como conteúdo de matéria orgânica, foraminíferos, $\delta^{13}\text{C}$ e ϵNd nos sedimentos e mineralogia de argilas, descreveram a entrada

sazonal de águas mais frias e menos salinas oriundas da desembocadura do Rio da Prata e das lagunas do sul do Brasil (Patos e Mirim). A intrusão desta massa d'água na plataforma sul/sudeste brasileira interfere, segundo estes autores, nos processos de sedimentação, em especial ao sul da Ilha de São Sebastião, favorecendo a sedimentação terrígena fina nesta região. Esta massa d'água diferenciada encontra-se descrita em Piola *et al.* (2000) e Piola e Romero (2004).

Um único senão nesta hipótese é a presença dos PAHs e de uma maior taxa de sedimentação medida pelo ^{210}Pb diante de Santos e não distribuídos ao longo da plataforma. Os hidrocarbonetos aromáticos podem ser sintetizados por algumas bactérias, plantas ou fungos, mas o maior aporte destas substâncias em ambiente marinho é às atividades antropogênicas são as maiores responsáveis pela entrada desses compostos no ambiente marinho (McElroy *et al.*, 1989 *apud* Bícigo *et al.*, 2007). As principais fontes de PAHs para o ambiente marinho são as antrópicas através dos processos de queima parcial de combustíveis fósseis, seguidos pelos derrames acidentais ou crônicos de petróleo e derivados (Colombo *et al.*, 1989; Law e Biscaya, 1994; Blumer, 1996 *apud* Bícigo *et al.*, 2007). Readman *et al.* (2002 *apud* Bícigo *et al.*, 2007) afirmam que valores de hidrocarbonetos maiores que $100 \mu\text{g.g}^{-1}$ estão usualmente associadas à contaminação por petróleo.

Uma hipótese que poderia explicar esta contribuição mais localizada defronte ao Estuário Santista seria o fato de que as reentrâncias mais pronunciadas da costa, (como é o caso do Estuário Santista), consigam exportar para a plataforma uma maior quantidade de partículas (sejam elas sedimentos em suspensão, radionuclídeos, metais hidrocarbonetos). Estas águas costeiras podem ser enriquecidas pelas drenagens locais que drenam a Serra do Mar, que apresenta minerais - traço com certo teor de elementos radioativos e também pela contaminação atmosférica urbana da Baixada Santista e talvez até da região da grande São Paulo. O pólo petroquímico de Cubatão, o porto de Santos e o esgoto urbano da Baixada Santista podem ainda contribuir com resíduos que atingem tanto as drenagens naturais e artificiais como a atmosfera. O relatório da CETESB (2009) aponta que o Pb é um resíduo atmosférico não natural e muito comum de ser encontrado em cidades e em regiões industriais.

Santos *et al.* (2008) apontaram, em estudo do uso de radionuclídeos como traçadores de processos costeiros, que as indústrias de fertilizantes fosfatados e refinarias de petróleo produzem a maior quantidade de rejeitos atmosféricos contendo materiais radioativos, sendo que uma alta concentração destas empresas existem na Baixada Santista (SP) e na Baía do Guanabara (RJ), sendo esta última em especial contaminada pela indústria do petróleo.

Um estudo feito pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), publicado no jornal Folha de São Paulo (02/03/2008) atesta que a mancha de poluição da região metropolitana de São Paulo (maior emissora de poluição urbana do hemisfério Sul) já avança mais de 600 km e atinge o litoral e o extremo oeste do Estado, à beira do rio Paraná. O monitoramento por satélite feito pelo INPE começou a detectar essa migração em 2002, mas não é possível dizer se o problema está piorando ou não, pois não há uma série histórica maior para realizar a comparação (Credendio e Balazina, 2008).

Esta hipótese esbarra em vários obstáculos como, por exemplo, a falta de medições da circulação da plataforma, de sua capacidade de redistribuir este material, do quanto este material não se degrada (em especial os PAHs) em águas oceânicas e o fato deste testemunho (7745) ser bastante rico em matéria orgânica (teores de quase 20%), o que por si só já é motivo para um enriquecimento de partículas em si, que por sua vez pode alterar a taxa de sedimentação (que é calculada a partir da deposição de partículas “radionuclídeos”).

Mas justamente pela presença destes marcadores químicos e a taxa de sedimentação mais alta, é que pode existir uma possibilidade do Estuário Santista contribuir puntualmente neste ponto, através de uma redistribuição como aquela descrita em Castro Filho *et al. in* Pires-Vanin (2008), que mostra a saída da água do Estuário Santista deslocada para norte, alcançando a porção mais ao sul da Ilha de São Sebastião e convergindo novamente rumo ao sul. Porém, parece nítido que a maior parte da contribuição recente de material fino provém da massa d’água gerada pelo Rio da Prata e das lagunas do sul do país.

O testemunho 6678, devido à sua composição predominantemente carbonática, apresenta maior dificuldade quanto a ter seus dados corroborados por quaisquer outros parâmetros, uma vez que na literatura não existem dados sobre obtenção de taxas de sedimentação em testemunhos carbonáticos. A eliminação do carbonato para obtenção da fração siliciclástica não pode ser feita a fim de evitar a eliminação do próprio ^{210}Pb por meio das lavagens ou mesmo a inserção do radionuclídeo na matriz clástica que estaria associada aos biodetritos. Esta informação inclusive impede a comparação do dado obtido com $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ com os dados obtidos com ^{14}C , cuja preparação inclui a retirada do carbonato biodetrítico.

De acordo com o Atlas Sedimentológico (Rodrigues *et al.*, 2003), as zonas de maior concentração de sedimentação carbonática, na plataforma continental paulista, situam-se além da isóbata de 100 metros, podendo ser correlacionadas a materiais pretéritos conhecidos como “*beach rocks*”. Este testemunho, por estar situado na isóbata de 100 metros, apresenta um padrão sedimentológico diferenciado do que é normalmente descrito na área, podendo corresponder a uma mancha (*patch*) sedimentológica reliquiar mapeada anteriormente na porção mais a sul pelo Projeto REVIZEE.

De qualquer modo, a sedimentação carbonática indica a ausência de aporte significativo de material sedimentar atual neste local, porém não significa que não há deposição de outras partículas uma vez que existe o aporte de $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$, medido no testemunho como um todo. O aumento de teores dos metais rumo ao topo (Zn, Pb e Cu) também corroboram a idéia de que existe material particulado que se deposita nesta região. A diferença principal neste caso é que possivelmente este material está dissolvido na água e chega aqui ou devido à ação das correntes que deslocam as massas d'água ou ocorre um aporte atmosférico direto.

A taxa de sedimentação deste testemunho (^{210}Pb - 0,15cm/ano e ^{137}Cs - 0,17cm/ano) foi a mais baixa entre aquelas encontradas ao longo da isóbata de 100 metros de profundidade. Mesmo com as diferenças de preparação de amostras, Mahiques *et al.* (2002) com o uso do método do ^{14}C para este mesmo testemunho, encontraram taxas de sedimentação de 54mm/1000anos, sendo também este o

menor valor de taxa de sedimentação encontrada na área ao sul da ilha de São Sebastião. Esta taxa mais baixa de sedimentação, neste ponto, pode ser explicada pela ação da Corrente do Brasil, que segundo Silveira *et al.* (2000) e Mahiques *et al.* (2007, 2009) pode não permitir a deposição de sedimentos nesta região.

O testemunho 6669 foi considerado neste trabalho como uma transição entre os compartimentos norte e sul da Ilha de São Sebastião por três razões: 1) está situado diante da Ilha de São Sebastião que é o grande divisor da plataforma continental do Embaíamento São Paulo, 2) está situado em um paleocanal, com expressão topográfica (Conti, *com. pessoa*), o que o torna diferenciado dos demais testemunhos e 3) apresenta predomínio de areia siliciclástica, o que não é comum a esta profundidade.

Não se conhece muito bem o papel atual dos paleocanais (antigos vales fluviais colmatados durante as transgressões marinhas) na sedimentação atual, porém especula-se que estas feições possam ser facilitadoras da ingressão da ACAS na plataforma continental (Castro Filho, 1996). Os resultados diferenciados neste local podem atestar que os paleocanais, mesmo com uma pequena expressão topográfica no fundo atual, exerçam um papel diferenciado também nos processos sedimentares atuais.

A taxa de sedimentação deste testemunho (^{210}Pb – 0,24cm/ano e ^{137}Cs – 0,29cm/ano) foi da mesma ordem de grandeza que a observada como média na isóbata de 100 metros no compartimento ao norte da Ilha de São Sebastião. Entretanto, não é possível caracterizar satisfatoriamente a contribuição das lamas atuais que deveriam chegar a este ponto, uma vez que o predomínio é do sedimento arenoso, de origem provavelmente palimpsesta, como já descrito nesta região por Furtado e Mahiques (1990) e Furtado *et al.* (1997). Mahiques *et al.* (2002) com o uso do método do ^{14}C para este mesmo testemunho, encontraram taxas de sedimentação de 106mm/1000anos.

6.2.2. Compartimento Isóbata de 100 metros ao norte da Ilha de São Sebastião

Este compartimento, diferentemente do compartimento ao sul da Ilha de São Sebastião, pode ser estudado como uma unidade homogênea, sendo que todos os seus testemunhos apresentam sedimentação predominantemente siliciclástica. Todos os testemunhos mostram um aumento no teor de carbonato biodetrítico rumo ao topo dos testemunhos, o que se reflete na granulometria, com o aumento da fração arenosa. Estes testemunhos também apresentaram aumento dos teores de Pb, Zn e Cu em direção ao topo do testemunho, em especial no caso do Pb para o testemunho 6735. A exceção está no testemunho 6740, onde mesmo com o aumento de CaCO_3 , a fração arenosa diminui em direção ao topo do testemunho. Este testemunho também é exceção em relação à tendência de aumento no teor de metais, apresentando diminuição nos valores rumo ao topo do testemunho. O fator de enriquecimento dos metais em todos os testemunhos também mostrou que a poluição da região costeira não atinge este setor da plataforma externa.

O testemunho 6735, situado defronte da Baía da Ilha Grande na isóbata de 102 metros mostra taxas de sedimentação (0,23 cm/ano - ^{210}Pb e ^{137}Cs) muito semelhantes às obtidas no testemunho 6669. Em linha reta a partir deste ponto, a uma profundidade de 126 metros, o cenário se alterou consideravelmente. O testemunho 7373, mesmo sendo litobioclástico (40%), apresentou uma alta taxa de sedimentação para a área, sendo a obtida pelo ^{210}Pb de 0,32cm/ano e a por ^{137}Cs de 0,37cm/ano. Os bioclastos mostram-se muito fragmentados, evidenciando transporte. Embora este testemunho possua um teor maior de CaCO_3 , a maior parte dos sedimentos é de origem terrígena, fazendo com que este testemunho possa ser diretamente comparado com os demais deste compartimento, diferindo do caso do testemunho 6678.

Esta diferença de cenários em localidades tão próximas é bastante interessante, seja pela diferença no teor de carbonatos biodetríticos, seja pela diferença na taxa de sedimentação. Quanto ao teor de carbonato biodetrítico, a resposta pode estar na proximidade deste testemunho com uma faixa de maior

concentração de sedimentos carbonáticos existente na isóbata de 130 metros, que se estende da ilha de São Sebastião até o Cabo Frio.

Quanto à diferença em termos de sedimentação, uma explicação possível seria a atuação do meandramento da Corrente do Brasil, sendo que muito possivelmente o fluxo mais intenso dos meandros passe mais próximo da isóbata de 100 metros e permita que na isóbata de 126 metros ocorra uma maior sedimentação. Mas não existem dados que possam corroborar este “funcionamento” dos vórtices e meandros nesta região.

Mesmo com esta possível maior ação dos meandros da Corrente do Brasil, ocorre um aumento dos teores de metais no testemunho 6735, indicando que pelo menos o Pb oriundo da zona costeira, está atingindo este ponto. Segundo Merian (1991), o Pb não é um elemento essencial, sendo suas concentrações naturais relativamente baixas. Entretanto, nos últimos 60 anos uma grande quantidade de Pb foi extraída, concentrada e usada pelo homem e reemitida para o ambiente, em especial em combustíveis de automóveis. No Brasil, o Pb era adicionado à gasolina até o ano de 1989, quando, por razões sanitárias, não foi mais usado (Pantaroto *et al.*, 2007) embora esta medida tenha sido oficializada somente em 1992.

As maiores fontes de Pb no meio ambiente são hoje os combustíveis utilizados em aviões de pequeno porte e helicópteros, cuja frota aumentou muito nas últimas décadas, além de baterias e pilhas, muitas vezes descartadas junto com o lixo comum. Mineração, siderurgia, refinarias e incineração de lixo são também fontes de contaminação por Pb mas em geral ao nível mais local. Os esgotos em geral também são contaminados por Pb (Merian, 1991).

Dependendo do tamanho da partícula em suspensão, o Pb pode ter um longo tempo de residência na atmosfera, sendo transportadas por distâncias maiores a milhares de quilômetros, pelos sistemas meteorológicos (Merian, 1991). As partículas em suspensão que levam o Pb a mais de 200km da sua origem são chamadas de *airborne*. Huntzicker *et al.* (1975 *apud* Merian, 1991) afirmaram que as partículas derivadas da queima de combustíveis de motores automotivos em Los Angeles (Estados Unidos) são distribuídas da seguinte maneira: 55% são

depositadas a menos de 20 km da sua emissão, 10% são depositadas em distâncias que variam entre 20 a 200km da sua emissão e 35% são *airborne*.

O Pb, encontrado em pontos mais longínquo da costa, muito possivelmente atingiu este local por meio da propagação atmosférica, na forma de material particulado (CETESB, 2009) e se depositando por *fallout*. Recuero *et al.* (2004) atestam que o deslocamento da pluma de material em suspensão provenientes de queimadas/ emissões industriais e urbanas acompanha o movimento das frentes frias (Figura 75), deslocando esta pluma em direção ao Oceano Atlântico, ou seja, a possibilidade da poluição atmosférica das cidades/ indústrias atingirem porções mais longínquas na plataforma é significativa.

Figura 75. Exemplo no Estado do Paraná, em que a direção e velocidade dos ventos em duas condições atmosféricas distintas, mostrando que os poluentes e seu material particulado podem atingir o Oceano Atlântico, sendo uma fonte atual de contaminantes (Fonte: Caviglione *et al.*, 2000).

O testemunho 6740, entre as baías de Ilha Grande e da Guanabara, como já dito anteriormente, apresentou tendência de diminuição do tamanho dos grãos rumo ao topo do testemunho, o que pode evidenciar uma diminuição da capacidade de transporte das correntes locais e/ou o aporte de sedimentos mais finos. Uma alteração mais significativa ocorreu no intervalo entre 2 e 3 centímetros de

profundidade onde o teor de lama aumenta bastante (98%) e o teor de CaCO_3 vai para 40%. Este intervalo pode ser classificado como litobioclástico e pode ser tanto uma variação de fato na sedimentação, com pequena duração temporal ou mesmo resultado de algum tipo de remobilização causada por organismos ou mesmo por pesca de arrasto, que ocorre normalmente e tradicionalmente naquela região (FAERJ/SEBRAE-RJ, 2009). As taxas de sedimentação obtidas foram de 0,26cm/ano (^{210}Pb) e 0,29 cm/ano (^{137}Cs), que são muito semelhantes àsquelas obtidas pelo testemunho 7744.

Por fim, diante da Baía do Guanabara, o testemunho 6746 foi o mais diferenciado, uma vez que apresentou as mais altas taxas de sedimentação encontradas na área, sendo estas respectivamente 0,46 cm/ano (^{210}Pb) e 0,40 cm/ano (^{137}Cs), sendo possivelmente uma área pouco afetada pelas correntes da plataforma. Possivelmente, a baía do Guanabara deve exercer a mesma influência que àquela vista na isóbata de 100 metros diante do Estuário Santista, com a vantagem de que neste ponto, a plataforma continental é mais estreita, porém não foi possível a obtenção de dados que pudessem embasar melhor esta influência nesta região da plataforma.

Mahiques *et al.* (aprovado para publicação), com o método de datação por ^{14}C , obteve em alguns poucos testemunhos da área, na mesma isóbata de 100 metros, as taxas mais baixas de sedimentação do Embaiamento São Paulo (menores que 15 cm/1000 anos). Ao contrário do que foi visto para o compartimento sul, quando se comparam as taxas de sedimentação obtidas por Mahiques *et al.* (aprovado para publicação) e este trabalho, não houve a mesma concordância entre pontos com maior ou menor taxa de sedimentação. Estas diferenças podem ter ocorrido pelo fato de existirem mecanismos sedimentares diferenciados daqueles vistos no sul da ilha de São Sebastião, intervindo na deposição do ^{210}Pb (por exemplo a não existência da contribuição das águas doces provenientes do sul do continente, uma menor poluição atmosférica ou mesmo a menor existência de drenagens) ou então a quantidade de testemunhos estudados por este trabalho e por Mahiques *et al.* (aprovado para publicação) não serem suficientes para o

estabelecimento de uma relação entre as taxas de sedimentação obtidas por diferentes métodos no trecho entre a Ilha de São Sebastião e Cabo Frio.

6.2.3. Comparação entre os compartimentos da isóbata de 100 metros ao norte e ao sul da Ilha de São Sebastião

Comparativamente, as porções da plataforma externa ao norte e ao sul da Ilha de São Sebastião apresentam em comum a existência de um aporte atual de sedimentos, comprovado pela presença de ^{210}Pb não suportado e de ^{137}Cs em todas as amostras. Este afluxo, apesar da baixa expressividade das drenagens no continente, entre o Estuário Santista e Cabo Frio, deve ser oriundo ou das próprias reentrâncias mais proeminentes e mais impactadas deste trecho litorâneo (Estuário Santista e Baía do Guabanara) ou então da atmosfera, através da propagação do material em suspensão proveniente do continente em direção do Oceano Atlântico. Outra característica em comum é o predomínio do sedimento litoclástico em todos os testemunhos (com exceção do testemunho 6678).

A sedimentação no compartimento ao norte, assim como no localizado ao sul, parece ser controlada pelo meandramento da Corrente do Brasil, intercalando taxas de sedimentação maiores e menores ao longo da isóbata de 100 metros. Esta constatação concorda com trabalhos anteriores (Mahiques *et al.*, 2002, 2004 e 2009) que também encontraram, em especial na porção ao norte da ilha de São Sebastião, o franco domínio da Corrente do Brasil nos processos de sedimentação da plataforma externa.

A maior diferença entre os dois compartimentos reside na fonte dos sedimentos atuais e nas taxas de sedimentação obtidas. Ao sul, em média, as taxas de sedimentação foram menores, representando uma mudança de comportamento em relação aos resultados obtidos por ^{14}C por Mahiques *et al.* (aprovado para publicação). Porém, a fonte dos sedimentos atuais pôde ser identificada como sendo majoritariamente oriunda do sul do país, devido à influência da massa d'água oriunda do Rio da Prata e das lagunas do sul do Brasil. Existe uma hipótese de, localmente, ocorre um aporte de partículas oriundas da região do Estuário Santista.

Este aporte poderia ser de sedimentos em suspensão ou então de particulados que poderiam, no caso dos radionuclídeos, resultar em um aumento da taxa de sedimentação.

Já ao norte, a influência da massa d'água do sul é bastante minimizada embora Stevenson *et al.* (1998) relatem a existência de foraminíferos de águas frias e costeiras na Baía da Ilha Grande (RJ). O mesmo aumento da taxa de sedimentação visto diante do Estuário Santista na isóbata de 100 metros, foi identificado, na mesma profundidade, diante da Baía do Guanabara. Neste caso, entretanto, devido à falta de dados, não foi possível obter outros marcadores que pudessem corroborar ou mesmo refutar esta hipótese. A maior dificuldade neste caso seria explicar a fonte dos sedimentos atuais, uma vez que não há drenagens neste compartimento ou mesmo o aporte de uma drenagem maior mais distante que justificasse este maior aporte atual visto nas medidas de taxas de sedimentação por $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$.

De um modo geral, para a plataforma externa, o método de obtenção de taxa de sedimentação pelo $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ se mostrou ainda eficaz, porém não com a mesma sensibilidade determinada para o compartimento costeiro provavelmente devido à forte dependência que a sedimentação possui em relação aos processos hidrodinâmicos de fundo, que ainda não são totalmente conhecidos e que sofrem grande influência da Corrente do Brasil no tocante à circulação (Castro Filho e Moreira, 1994; Castro Filho, 1996; Moreira, 1997; Souza, 2000; Castro Filho *et al.* in Pires-Vanin, 2008).

Em relação aos metais, nenhum dos testemunhos obtidos apresentou ou um fator de enriquecimento significativo de metais, ou um valor maior do que os índices da Resolução CONAMA 344/04, não havendo então contaminação da plataforma externa com os metais provenientes da região costeira. Aparentemente a contaminação por metais, neste compartimento, está de fato restrita à costa, em especial, ao Estuário Santista (Hurtado, 2003; Fukumoto, 2007) e à Baía de Guanabara (Catanzaro, 2002). Porém, existe uma tendência ao aumento do teor de metais no compartimento ao norte da ilha de São Sebastião (em especial de Pb) que

não pode ser ignorado, mostrando que, talvez, uma pequena parcela dos metais provenientes da região costeira esteja atingindo a plataforma externa. A plataforma interna não mostra esta passagem de metais entre a costa e as porções mais profundas devido ao predomínio de material arenoso.

Tanto no compartimento sul quanto no norte, os maiores teores de metais foram encontrados nos testemunhos defronte, respectivamente, ao Estuário Santista e à Baía do Guanabara, possivelmente devido à contribuição do material em suspensão na atmosfera bem como nos sedimentos presentes na pluma de material em suspensão em ambiente marinho.

Na literatura mundial, existem poucos trabalhos efetuados em ambientes oceânicos, com baixo aporte fluvial. Alguns dos mais importantes estudos foram na plataforma norte do estado da Califórnia (Wheatcroft e Sommerfield, 2005), na plataforma continental do estado de Washington (Nittrouer *et al.*, 1983/84), na plataforma continental da Groenlândia (Asmund e Nielsen, 2000) e na margem continental de Sidney (Matthai *et al.*, 2001), com taxas de sedimentação variando entre 0,2 a 0,7cm/ano. Embora estas taxas sejam muito compatíveis com aquelas encontradas no trecho estudado, as condições oceanográficas e de sedimentação destas áreas são muito distintas das encontradas no setor centro - norte do Embaiamento São Paulo, não permitindo uma comparação imediata.

6.3 Compartimento 500 metros

Este compartimento foi monitorado seguindo a premissa de que os valores de metal aqui obtidos poderiam fornecer um background natural dos metais na plataforma continental e de que as taxas de sedimentação seriam mínimas.

De fato, as taxas de sedimentação nesta isóbata, em geral, são muito pequenas e os sedimentos ali presentes palimpsestos ou relictos (Mahiques *et al.*, aprovado para publicação). As taxas de sedimentação, nesta mesma profundidade, medidas a partir do ^{210}Pb em vários locais do mundo mostram que a média anual de sedimentos recebidos nestas áreas oceânicas não passa de décimos de milímetros por ano (Alperin *et al.*, 2002; Asmund e Nielsen, 2000; Egorov *et al.*, 1999; Haas *et*

al., 1997; Hong *et al.*, 1997; Hung-Gwo e Yu-Chia, 1994; Jouanneau *et al.*, 2002; Pandarinath *et al.*, 2004; Pempkowiak, 1991; Zaborska *et al.*, 2008).

No Brasil, Arz *et al.* (1999), através do método do ^{14}C , encontraram taxas de sedimentação variando entre 8 a 30 cm/1000 anos em testemunhos coletados na isóbata de 1000 metros, no Nordeste Brasileiro, nos taludes defronte aos estados do CE, RN e PA. As taxas de sedimentação do talude continental obtidas por Knoppers *et al.* (1999), no talude continental do litoral leste e nordeste e Macario *et al.* (2004), no talude continental da Bacia de Campos, foram menores que 1 mm/ano.

Em alguns trabalhos que abordam estudos de taxas de sedimentação em taludes e bacias oceânicas, as taxas obtidas com ^{210}Pb foram bem mais altas, em geral associadas a um grande aporte fluvial em mares restritos. Um exemplo é o caso dos taludes na margem oeste do Mar Mediterrâneo onde o aporte do Rio Ródano faz com que haja a deposição de 1,75cm/ano (Buscail *et al.*, 1997) em profundidades superiores a 500 metros. Outros exemplos ocorreram no Golfo do México onde o aporte no delta do Rio Mississippi faz com que a taxa de sedimentação medida pelo ^{210}Pb resulte em 440cm/ano em uma estação situada a 767metros de profundidade (Santschi e Rowe, 2008) e na costa da Síria, a presença dos rios Qerdaha, Ramlehriuer, Zrirroud, Burgoul e Al-Sin fizeram com que as taxas de sedimentação na isóbata de 500 metros fossem, em média, de 0,57cm/ano (Othman *et al.*, 2000).

No caso deste trabalho, os dados obtidos nos dois testemunhos foram contraditórios entre si. O testemunho 6670 apresenta sedimentação siliciclástica predominante, em taxas menores que 1mm/ano (0,04cm/ano – ^{210}Pb e 0,06cm/ano – ^{137}Cs), que são bastante compatíveis com os dados da literatura mundial para esta profundidade mas já fora dos limites de confiabilidade do método $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$. Tessler (2001), com o uso do método do ^{210}Pb neste mesmo testemunho, obteve taxas menores que 1 mm/ano, muito similares às deste trabalho. Mahiques *et al.* (2002), com o método do ^{14}C , obteve para este mesmo testemunho a taxa de sedimentação de 37mm/1000anos, ou seja, com diferença de uma ordem de grandeza, o que já foi apontado anteriormente em Figueira *et al.* (2006) e Santos *et*

al. (2008) no estudo de comparação entre taxas de sedimentação obtidas por $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ e ^{14}C .

O testemunho 6680, entretanto, apresentou resultados muito distintos em relação ao testemunho 6670. O teor de CaCO_3 foi crescente rumo ao topo. A transição entre valores tido como litoclásticos para litobioclásticos (ainda segundo a classificação de Larssonneur, 1982) está na profundidade de 3 cm. Esta variação indica uma mudança no padrão de sedimentação, com diminuição da importância da sedimentação terrígena e aumento de precipitação de sedimentos bioclásticos. Este aumento de CaCO_3 resultou também em uma granocrescência ascendente.

Os teores de metais, que deveriam ser relativamente estáveis devido à grande profundidade e o quase insignificante aporte de sedimentos, apresentaram uma tendência de aumento de teor em direção ao topo dos testemunhos, em média de 1,5 vez, o que não era exatamente esperado. A princípio estes pontos funcionariam como um ponto de controle, para obtenção de background regional. Este aumento confirma que algum tipo de aporte continental deve estar alcançando este ponto. A literatura aponta que em profundidades abissais, em diversos locais do mundo como a baía de Santa Mônica (Bay *et al.*, 2003) e no Mar Mediterrâneo próximo à costa catalã (Puig *et al.*, 1999), está ocorrendo a contaminação por metais devido à deposição de argilas provenientes do continente já associadas a metais como Pb, Ni e Cu.

Ambos os testemunhos apresentaram presença de ^{137}Cs e ^{210}Pb , o que indica a ocorrência de deposição atual de sedimentos. As taxas de sedimentação obtidas para este testemunho a partir do ^{210}Pb (0,26cm/ano) e do ^{137}Cs (0,29 cm/ano) foram consideradas altas, da mesma grandeza daquelas encontradas para a isóbata de 100 metros. Mahiques *et al.* (2002), estudando a taxa de sedimentação pelo método do ^{14}C para o mesmo testemunho, encontrou uma taxa de 10mm/1000 anos. Neste caso, não houve nenhuma concordância em termos de tendência de sedimentação entre os dados deste trabalho e os de Mahiques *et al.* (2002).

Outro fato que pode ter “mascarado” a obtenção correta da taxa de sedimentação foi a mudança ambiental que vem ocorrendo neste ponto, sinalizada

pela alteração do teor de CaCO_3 e de areia. Esta alteração pode indicar uma alteração do fluxo da Corrente do Brasil, que pode estar retrabalhando mais este ponto. Uma hipótese aventada seria a ocorrência de escorregamento de material proveniente do topo do talude, trazendo material mais recente da plataforma externa, mas estes pulsos de sedimentação teriam um registro bem marcado na taxa de sedimentação.

Santschi e Rowe (2008), que obtiveram taxas de sedimentação em vários testemunhos entre 700 e 3000 metros de profundidade, com o uso de ^{14}C e ^{210}Pb , apontaram que em casos de testemunhos situados em grandes profundidades, a metodologia do ^{14}C é a que apresenta um maior potencial de uso.

Esta área é normalmente considerada como uma área mais propícia à deposição uma vez que justamente entre as isóbatas de 450 e 500 metros ocorre a transição entre o fluxo rumo ao sul da Corrente do Brasil e do fluxo rumo ao norte da Corrente de Contorno Oeste Intermediária (Mahiques *et al.*, aprovado para publicação). Mas aparentemente neste ponto, situado a 458 metros de profundidade, a Corrente do Brasil vêm exercendo uma interferência maior.

7. Conclusões

O método $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ para obtenção de taxas de sedimentação recentes mostrou-se muito apropriado, inclusive como “*proxy*” de processos sedimentares em regiões costeiras e na plataforma continental interna, em profundidades inferiores a 40 metros. Os dados obtidos neste trabalho, para estas regiões, apresentaram uma sedimentação recente na ordem de milímetros por ano, com aporte de ^{137}Cs e ^{210}Pb constante, implicando na existência de sedimentação siliciclástica atual. Detalhes da sedimentação em áreas próximas, mas submetidas à diferentes trens de ondas incidentes e ação de correntes diferenciadas, puderam ser definidos, ao contrário do que foi afirmado por Santos *et al.* (2008), no caso do ^{137}Cs , onde os autores apontaram que o baixo nível de base deste radionuclídeo na costa brasileira inviabiliza seu uso para diagnóstico de processos costeiros. A comparação com outros métodos de obtenção de taxas de sedimentação não foi possível devido à ausência de estudos realizados com outros radionuclídeos ou técnicas (como pólen ou ^{14}C , por exemplo) na área mais costeira.

Já na isóbata de 100 metros, o método $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ para obtenção de taxas de sedimentação associado às análises granulométricas e de teor de carbonato biodetrítico mostraram uma diferenciação importante no aporte de sedimentos nos compartimentos ao sul e à norte da ilha de São Sebastião, fato este já constatado na literatura (Mahiques *et al.*, 2002; 2004, 2008; Campos *et al.*, 2008; Möller Jr. *et al.*, 2008). As taxas de sedimentação obtidas por $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}$ (na ordem de milímetros por ano) se mostraram uma ordem de grandeza acima daquela obtidas com o método de ^{14}C (décimo de milímetro por ano). Tessler (2001), Figueira *et al.* (2006) e Santos *et al.* (2008) obtiveram esta mesma diferença de ordem de grandeza na comparação das duas técnicas em estudo de taxa de sedimentação em diversos pontos da plataforma continental brasileira e concluíram que, este fato revela a impossibilidade de utilização de ambas as técnicas como complementares para a obtenção de taxas de sedimentação quaternárias mais confiáveis.

No compartimento ao sul da Ilha de São Sebastião, tanto as taxas obtidas por $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}$ como aquelas obtidas por ^{14}C apontaram as mesmas tendências na

indicação de pontos na plataforma externa com maior/ menor sedimentação. Este fato já não ocorreu no compartimento ao norte da Ilha de São Sebastião, indicando ou diferenças no aporte dos radionuclídeos nos setores ao norte e ao sul da Ilha de São Sebastião, ou ainda uma pequena quantidade de testemunhos estudados com ambas as técnicas o que não permitiu a obtenção desta correlação em termos de sedimentação.

Não houve como visto para as menores profundidades, uma definição tão clara dos processos sedimentares atuantes nestas áreas, sendo que a hipótese mais provável é a chegada de material sedimentar atual ou trazidos por uma massa d' água proveniente de sul (no caso do compartimento ao sul da Ilha de São Sebastião) ou mesmo uma contribuição local de reentrâncias costeiras maiores como o Estuário Santista e a Baía do Guabanara. Marcadores como PAHs, que apresentaram um aumento de concentração na isóbata de 100 metros diante do Estuário Santista, podem auxiliar muito no estabelecimento da contribuição terrígena atual. No caso do compartimento norte, a fonte dos sedimentos atuais não pôde ser definida ao certo, embora a taxa de sedimentação média neste compartimento tenha sido maior do que àquela vista no compartimento ao sul da Ilha de São Sebastião.

A partir dos resultados obtidos para os testemunhos coletados ao longo da isóbata de 100 metros verifica-se que as taxas de sedimentação obtidas pelo método $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}$ em testemunhos siliciclásticos se mostraram ainda bastante confiáveis, sendo os resultados obtidos compatíveis com os descritos em várias regiões do mundo que apresentam baixo aporte sedimentar atual (Nittrouer *et al.*, 1983/84; Asmund e Nielsen, 2000; Matthai *et al.*, 2001; Tessler, 2001; Wheatcroft e Sommerfield, 2005).

No caso de testemunhos com maior porcentagem de carbonato biodetrítico na isóbata de 100 metros (testemunho 6678), notou-se que embora o aporte sedimentar seja distinto neste local da plataforma, ocorre a chegada atual de material particulado (radionuclídeos e metais), indicando que a própria massa d'água apresenta uma certa quantidade destas partículas, que acaba sendo incorporada pelo sedimento bioclástico. Este tópico, envolvendo taxas de sedimentação em

sedimentos carbonáticos merece uma investigação mais cuidadosa a fim de determinar o quanto a própria massa d'água pode contribuir em relação a este particulado e qual seria a origem deste. Uma boa hipótese seria investigar melhor o *fallout* atmosférico direto.

A eficiência do método $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ para obtenção de taxas de sedimentação perdeu a confiabilidade em testemunhos cujo predomínio são de areias siliciclásticas, uma vez que os radionuclídeos dificilmente se associam com esta fração, fato já apontado por Nittroeur *et al.* (1979) como uma limitação ao método. Apesar destes limitantes, o testemunho 6669, justamente por se localizar em um paleocanal ainda com expressão topográfica na superfície de fundo, merece ser estudado com mais detalhes a fim de verificar se além da granulometria distintas, existem outros indícios que contribuiriam com a definição destes canais antigos nos processos de sedimentação atual.

O único agente que pôde explicar os processos de sedimentação vistos na isóbata de 100 metros é a Corrente do Brasil, que com seus vórtices e meandros, pode atingir inclusive a plataforma média do trecho estudado do Embaimento São Paulo, permitindo o deslocamento da Água Costeira para as áreas mais externas da plataforma (Tessler, 2001 e Mahiques *et al.*, 2002, 2004, 2008, 2010).

Já para a isóbata de 500 metros, a obtenção de taxas de sedimentação pelo método $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ mostrou-se um equívoco pois contraria vários pressupostos colocados por Nittroeur *et al.* (1979) como a baixa taxa de sedimentação (menor que 0,1cm/ano) e a baixa atividade inicial do radionuclídeo medido. Estas limitações se refletiram na determinação de taxas ou muito baixas (testemunho 6670) ou estranhamente altas (testemunho 6680) nesta isóbata. Porém, um fato interessante é a constatação de que os sedimentos siliciclásticos atuais estão alcançando esta profundidade uma vez que os testemunhos analisados mostraram a presença significativa de ^{210}Pb e de ^{137}Cs . Para esta profundidade, a técnica do ^{14}C , efetuada por Tessler (2001) e Mahiques *et al.* (aprovado para publicação) mostrou-se muito mais eficiente e confiável para a obtenção de taxas de sedimentação por abranger maiores intervalos de tempo de sedimentação.

Um fato a ser investigado é a quantificação da quantidade de radionuclídeos/metais existe atualmente e por qual distância se propaga a mancha de poluição atmosférica que atinge a costa sudeste, em especial no eixo Rio – São Paulo.

Resumidamente pode-se afirmar que, para o trecho entre o Cabo Frio (RJ) e Santos (SP), a técnica de obtenção de taxas de sedimentação com a técnica de $^{210}\text{Pb}/^{137}\text{Cs}$ é bastante confiável em regiões costeiras e na plataforma continental até a isóbata de 100 metros, mesmo quando não existe uma fonte importante de aporte sedimentar atual, como um rio de maior porte por exemplo. Tessler (2001), utilizando esta mesma técnica, obteve resultados que, na isóbata de 100 metros, indicaram não só a taxa de sedimentação como também processos de sedimentação atuais. Ainda nestas regiões mais rasas, nenhuma das limitações citadas por Nittrouer *et al.* (1979) ocorreram.

Já em áreas marinhas profundas (plataforma externa e talude continental), a técnica mais adequada para a obtenção de taxas de sedimentação foi a do ^{14}C , uma vez que o aporte atual de sedimentos siliciclásticos nestas áreas é bastante diminuto e ocorrem várias das condições descritas por Nittrouer *et al.* (1979) e nenhuma das limitações mais significativas ao método do ^{14}C encontradas em Suguio (1999).

Em relação aos metais, quando comparados às normativas que apontam contaminações, de um modo geral, o teor dos metais Pb, Cu e Zn apresentaram pequenas oscilações ao longo da coluna sedimentar e não atingiram nenhum limite preocupante na área estudada, indicando a não transferência de contaminação vista na região mais costeira, em especial Estuário Santista e Baía do Guanabara, para as porções mais profundas da plataforma e do talude continental. Entretanto, existiram casos isolados de presença de teores de metais mais elevados do que os estabelecidos na legislação brasileira (CONAMA 344/04) como no caso do Pb para os testemunhos 6735 e 6740, o que pode mostrar uma transferência mais pontual de metais para a plataforma externa. O testemunho 6680 mostrou também um aumento nos teores de Pb, Cu e Zn, o que mereceria um estudo mais detalhado referente ao aporte destes metais em profundidades maiores. Novamente, um fator a ser investigado é referente à propagação de manchas de poluição atmosférica.

8. Referências Bibliográficas

- ALLISON, M. A.; KINEKE, G. C.; GORDON, E. S. e GOÑI, M. A. 2000. Development and reworking of a seasonal flood deposit on the inner continental shelf off the Atchafalaya River. **Continental Shelf Research**, v. 20, p. 2267 – 2294.
- ALLISON, M. A.; SHEREMET, A.; GOÑI, M. A. e STONE G. W. 2005. Storm layer deposition on the Mississippi–Atchafalaya subaqueous delta generated by Hurricane Lili in 2002. **Continental Shelf Research**, v. 25, p. 2213 – 2232.
- AL-ZAMEL, A. Z.; BOU-RABEE, F.; OLSZEWSKI, M. e BEM, H. 2005. Natural radionuclides and ^{137}Cs activity concentration in the bottom sediment cores from Kuwait Bay. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 266, n. 2, p. 269 – 276.
- ALPERIN, M. J.; SUAYAHB, I. B.; BENNINGERB, L. K. e MARTENS C. S. 2002. Modern organic carbon burial fluxes, recent sedimentation rates, and particle mixing rates from the upper continental slope near Cape Hatteras, North Carolina (USA). **Deep-Sea Research II**, v. 49, p. 4645 – 4665.
- ALVES, E. C. e PONZI, V. R. A. 1984. Características morfológicas sedimentares da plataforma continental e talude superior da margem continental sudeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro, 1984, p. 1629 – 1642.
- ANDRADE, L. T. de A. 2002. Análise dos processos hidrodinâmicos e sedimentares da enseada da Fortaleza, Ubatuba/São Paulo. Dissertação de Mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica, 87 p.
- APPLEBY, P. G. e OLDFIELD, F. 1978. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported ^{210}Pb to the sediments. **Catena**, v. 5, p. 1 – 8.

- APPLEBY, P. G.; RICHARDSON, N e NOLAN, P. J. 1991. ^{241}Am dating of lake sediments. **Hydrobiologia**, v. 214, p. 35 – 42.
- APPLEBY, P. G. e OLDFIELD, F. 1992. Application of lead-210 to sedimentation studies. In: IVANOVICH, M. e HARMON, R. S., (eds.). Uranium-series Disequilibrium Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences. Oxford: Clarendon Press, p. 731 - 778.
- ARGOLLO, R. M. 2001. Cronologias de sedimentação recente e de deposição de metais pesados na baía de Todos os Santos usando Pb210 e Cs137. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 104p.
- ARNAUD, F.; MAGAND, O.; CHAPRON, E.; BERTRAND, S.; BOËS, X.; CHARLET, F. e MÉLIÈRES, M. A. 2006. Radionuclide dating (^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{241}Am) of recent lake sediments in a highly active geodynamic setting (Lakes Puyehue and Icalma—Chilean Lake District). **The Science of the Total Environment**, v. 366, p. 837 – 850.
- ASHLEY, G. M. e MORITZ, L. E. 1979. Determination of lacustrine sedimentation rates by radioactive fallout (^{137}Cs), Pitt Lake, British Columbia. **Canadian Journal of Earth Science**, v. 16, p. 965 – 970.
- ASMUND, G. e NIELSEN, S. P. 2000. Mercury in dated Greenland marine sediments. **The Science of the Total Environment**, v. 245, p. 61 – 72.
- ASTON, S. R. e STANNERS, D. A. 1979. The determination of estuarine sedimentation rates by $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ and other artificial radionuclide profiles. **Estuaries and Coastal Marine Science**, v. 9, p. 529 - 541.
- ARZ, H. W.; PÄTZOLD, J. e WEFER, G. 1999 a. Climatic changes during the last deglaciation recorded in sediment cores from the northeastern Brazilian Continental Margin. **Geo-Marine Letters**, v. 19, p. 209-218.

- ARZ, H. W.; PÄTZOLD, J. e WEFER, G. 1999 b. The deglacial history of the western tropical Atlantic as inferred from high resolution stable isotope records off northeastern Brazil. **Earth Planetary Science Letters**, v. 167, p. 105 – 117.
- BARCELLOS, R. L. 2000. Processo sedimentar atual e a distribuição da matéria orgânica sedimentar (C, N e S) do Canal de São Sebastião (SP) e plataforma continental adjacente. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 187p.
- BARCELLOS, R. L. e FURTADO, V. V. 1996. Distribuição e características do carbono orgânico no Canal de São Sebastião e plataforma continental adjacente. **In:** Reunião Especial da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência: Ecossistemas costeiros: do conhecimento à gestão, 3, 1996, Florianópolis, 1996. **Anais**. Florianópolis, 1996, p. 398.
- BAAS, H. W.; BODE, P. e BLAAUW, M. 2001. Ge detector efficiency calculations for determination of three-dimensions radioactivity distributions. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 61, p. 637 – 638.
- BACON, M. P.; SPENCER, D. W. e BREWER, P. G. 1976. $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ and $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ disequilibria in seawater and suspended particulate matter. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 32, p. 277 – 296.
- BAY, S. M.; ZENG, E. Y.; LORENSON, T. D.; TRAN, K. e ALEXANDER, C. 2003. Temporal and spatial distributions of contaminants in sediments of Santa Monica Bay, California. **Marine Environmental Research**, v. 56, p. 255 – 276.
- BEGEMANN; K. R. L.; LUGMAIR, G. W.; MIN, K.; NYQUIST, L. E.; PATCHETT P. J.; RENNE, P. R.; SHIH, C - Y.; VILLA, I. M. e WALKER, R. J. 2001. Call for an improved set of decay constants for geochronological use. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 65, n.1, p. 111 – 121.
- BENNINGER, L. K.; LEWIS, D. M. e TUREKIAN, K. K. 1975. The use of natural ^{210}Pb as a heavy metal tracer in the river estuarine system. **In:** CHURCH T.

- M. (ed.). Marine Chemistry in the Coastal Environment. Delaware: American Chemical Society Monography, v. 18, p. 202 – 210.
- BENNINGER, L. K.; ALLER, R. C.; COCHRAN, J. K. e TUREKIAN, K. K. 1979. Effects of biological sediment mixing on the ^{210}Pb chronology and trace metal distribution in a Long Island sound sediment core. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 43, p. 241 – 259.
- BERNAT, M. e T. M. CHURCH. 1989. Uranium and Thorium decay series in the modern marine environment. **In:** FRITZ, P. e FONTES, J. CH. (eds). Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, v. 3, p. 357 – 383.
- BERTINE, L. K. 1978. ^{210}Pb balance in Long Island. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 42, p. 1165 – 1174.
- BÍCEGO, M. C.; MONTONE, R. C. e WEBER, R. R. 2007. Contaminantes Orgânicos. **Relatório Técnico Projeto ECOSAN**. São Paulo, 2007. 27p.
- BÍCEGO, M. C.; MONTONE, R. C. e WEBER, R. R. 2009. Contaminantes Orgânicos. **Relatório Técnico Final Projeto ECOSAN**. São Paulo, 2009. 50p.
- BÍCEGO, M. C.; ZANARDI-LAMARDO E. e WEBER, R. R. Distribuição de Hidrocarbonetos. **In:** PIRES - VANIN, A. M. S. (Org.). 2008. Oceanografia de um Ecossistema Subtropical: Plataforma de São Sebastião, SP. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008, p. 123 – 139.
- BONETTI FILHO, J. e V. V. FURTADO. 1996. Remote Sensing Monitoring of Estuarine Fronts in Cananéia, São Paulo. **In:** Reunião Especial da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência: Ecossistemas costeiros: do conhecimento à gestão, 3, 1996, Florianópolis, 1996. **Anais**. Florianópolis, 1996, p. 388 - 389.

- BRAGANÇA, M. J. C. S. 1992. Aplicação do modelo da taxa de deposição constante (CRS) na datação de sedimentos da Baía de Guanabara utilizando medidas de ^{210}Pb . Dissertação de Mestrado. Pontífice Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Química, 72p.
- BRULAND, K. W.; BERTINE, K.; KOIDE, M. e GOLDBERG, E. D. 1974. History of metal pollution in southern California coastal zone. **Environmental Science & Technology**, v. 8, p. 425 – 432.
- BRYCE, S.; LARCOMBE, P. e RIDD, P. V. 1998. The relative importance of landward-directed tidal sediment transport versus freshwater flood events in the Normanby River estuary, Cape York Peninsula, Australia. **Marine Geology**, v. 149, p. 55 - 78.
- BUSCAIL, R.; AMBATSIAN, P.; MONACO, A. e BERNAT, M. 1997. ^{210}Pb , manganese and carbon: indicators of focusing processes on the northwestern Mediterranean continental margin. **Marine Geology**, v. 137, p. 271 – 286.
- BUTLER, L.W. 1970. Shallow structure of the continental margin, Southern Brazil and Uruguay. **Geological Society American Bulletin**, v. 81, p. 1079 - 1096.
- CALADO, L. 2001. Dinâmica da formação dos meandros e vórtices da corrente do Brasil, ao largo do Sudeste Brasileiro. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 95p.
- CAMPOS, E. J. D.; IKEDA, Y. e GONÇALVES, J. E. 1995. Water Mass structure and geostrophic circulation in the South Brazil Bight - summer of 1991. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. C9, p. 18537 – 18550.
- CAMPOS, E. J. D.; LORENZETTI, J. A.; STEVENSON, M. R.; STECH, J. L. e SOUZA, R. B.. 1996. Penetration of waters from the Brazil-Malvinas confluence region along the South American continental shelf up to 23°S . **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, p. 135 – 151.

- CAMPOS, E. J. D.; VELHOTE, D. e SILVEIRA, I. C. A. 2000. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 6, p. 751 - 754.
- CAMPOS, E. J. D.; MULKHERJEE, S.; PIOLA, A. R. e CARVALHO, F. M. S. 2008. A note on a mineralogical analysis of the sediments associated with the Plata River and Patos Lagoon outflows. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1687 – 1691.
- CASTRO FILHO, B. M. 1996. Correntes e Massas de Água da Plataforma Continental Norte de São Paulo. Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 248p.
- CASTRO FILHO, B. M. e MOREIRA, J. R. G. B. 1994. Current measurements in the Santos continental margin. **In: Southwestern Atlantic Physical Oceanography Workshop**, 1994, São Paulo. **Abstracts**. São Paulo, 1994, p.48.
- CASTRO FILHO, B. M.; MIRANDA, L. B. e MYAO, S. Y. 1987. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 35, n. 2, p. 135 - 151.
- CASTRO FILHO, B. M.; MIRANDA, L. B.; SILVA, L. S.; FONTES, R. F. C.; PEREIRA, A. F. e COELHO, A. L. Processos Físicos: Hidrografia, Circulação e Transporte. **In: PIRES - VANIN, A. M. S. (Org.). 2008. Oceanografia de um Ecossistema Subtropical: Plataforma de São Sebastião, SP. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p. 59 - 121.**
- CATANZARO, L. F. 2002. Distribuição de sedimentos e características de ecocaráter (7,0 kHz) na Baía de Guanabara – RJ. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geologia, 58p.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. 2000. Cartas climáticas do Paraná. Londrina : IAPAR, cd-rom.

- CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). 2001. Sistema Estuarino de Santos e São Vicente. **Relatório Técnico**. São Paulo: CETESB, 2001. 178p.
- CETESB (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL). 2009. Evolução das concentrações de chumbo na atmosfera da região metropolitana de São Paulo. **Relatório Técnico**. São Paulo: CETESB, 2009. 09p.
- CHEN, Z.; SAITO, Y.; KANAI, Y.; WEID, T.; LI, L.; YAO, H. e WANG, Z. 2004. Low concentration of heavy metals in the Yangtze estuarine sediments, China: a diluting setting. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 60, p. 91 - 100.
- CHRISTENSEN, E. R.; SCHERFIG, J. e KOIDE, M. 1978. Metals from urban runoff in dated sediments of a very shallow estuary. **Environmental Science & Technology**, v. 12, p. 1168 – 1173.
- CHUNG, Y. e CHANG, W. C. 1995. Pb-210 fluxes and sedimentation rates on the lower continental slope between Taiwan and the South Okinawa Trough. **Continental Shelf Research**, v. 15, n. 2/3, p. 149 – 164.
- CONTI, L. A. 1998. Aplicação de técnicas de geoprocessamento na caracterização de aspectos morfosedimentares do Canal de São Sebastião, litoral norte do Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 84p.
- CONTI, L. A. 2004. Geomorfologia da plataforma continental do Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 210p.
- CONTI, L. A. e FURTADO, V. V. 2006. Geomorfologia da plataforma continental do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 305 – 312.

- COOKE, C. V.; MADUREIRA, L. S. P.; GRIEP, G. H. e PINHO, M. P. 2007. Análise de dados de eco sondagem de fundo oriundos de cruzeiros realizados entre Fortaleza (CE) e Chuí (RS) com enfoque na morfologia e tipos de fundo. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 4, p. 443 – 457.
- CRAIG, H.; KRISHNASWAMI, S. e SOMAYAJULU, B. L. K. 1973. ^{210}Pb – ^{226}Ra : radioactive disequilibrium in the deep sea. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 17, p. 295 – 305.
- CREDENDIO, J. E. e BALAZINA, A. Qualidade do ar piora na Grande São Paulo. Folha de São Paulo. São Paulo. Disponível em <<http://gustavombaptista.blogspot.com/2008/03/monitoramento-e-controle-de-poluio-3.html>>. Acesso dia 03 de março de 2008.
- CRUSIUS, J.; BOTHNER, M. H. e SOMMERFIELD, C. K. 2004. Bioturbation depths, rates and processes in Massachusetts Bay sediments inferred from modeling of ^{210}Pb and $^{239} + ^{240}\text{Pu}$ profiles. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 61, p. 643 – 655.
- CUTSHALL, N. H.; LARSEN, I. L. e OLSEN, C. R. 1983. Direct analysis of ^{210}Pb in sediment samples: self-absorption corrections. **Nuclear Instrument Methods**, v. 206, p. 309 – 312.
- DAVIS, J. A. 1984. Complexation of trace metals by adsorbed natural organic matter. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 48, p. 679 – 692.
- DELAUNE, R. D.; PATRICK JR, W. H. e BURESH, R. J. 1978. Sedimentation rates determined by ^{137}Cs dating in a rapidly accreting salt marsh. **Nature**, v. 275, p. 532 - 533.
- DUKAT, D. A. e KUEHL, S. A. 1995. Non-steady state ^{210}Pb flux and the use of $^{228}\text{Ra}/^{226}\text{Ra}$ as a geochronometer on the Amazon shelf. **Marine Geology**, v. 125, p. 329 – 350.

- ECKELMAN, W. R.; BROECKER, W. S. e KULP, J. L. 1960. Half-life of ^{210}Pb . **Physical Review Letters**, v. 118, 698 – 701.
- EDGINGTON, D. N. e ROBBINS, J. A. 1976. Records of lead deposition in lake Michigan sediments since 1800. **Environmental Science Technology**, v.10, p. 266 – 274.
- EGOROV, V. N.; POVINEC, P. P.; POLIKARPOV, G. G.; STOKOZOV, N. A.; GULIN, S. B.; KULEBAKINA, L. G. e OSVARTH, I. 1999. ^{90}Sr and ^{137}Cs in the Black Sea after the Chernobyl NPP accident: inventories, balance and tracer applications. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 43, p. 137 – 155.
- ELBERLING, B.; KNUDSEN, K. L.; KRISTENSEN, P. H. e ASMUND, G. 2003. Applying foraminiferal stratigraphy as a biomarker for heavy metal contamination and mining impact in a fiord in West Greenland. **Marine Environmental Research**, v. 55, p. 235 – 256.
- EMILSON, I. 1961. The shelf and coastal waters off Southern Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, vol. XI, n. 2, p. 101 - 112.
- FAERJ/SEBRAE-RJ (FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E PESCA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO/ SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENA EMPRESAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO). 2009. Diagnóstico da cadeia produtiva da pesca marítima no Estado do Rio de Janeiro. **Relatório Técnico**. Rio de Janeiro: FAERJ/SEBRAE, 2009. 200p.
- FERNANDES, H. M.; CARDOSO, K.; GODOY, J. M. e PATCHINEELAM, S. R. 1993. Cultural impact on the geochemistry of sediments in Jacarepagua lagoon, Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Technology**, v. 14, p. 93 - 100.
- FIGUEIRA, R. C. L. 2000. Inventário de radionuclídeos artificiais em água do mar e sedimentos da costa sul do Brasil. 2000. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP), 153p.

- FIGUEIRA, R. C. L.; SILVA, L. R. N.; FIGUEIREDO, A. M. e CUNHA, I. I. L. 1997. Análise instrumental de baixos níveis de Césio-137 em amostras marinhas por espectrometria gama. **In:** Conferência Internacional “Goiânia – 10 Anos Depois”, 1997, Goiânia. **Anais.** Goiânia, 1997, não publicado.
- FIGUEIRA, R. C. L.; ZANINI, K. A.; TESSLER, M. G.; MAHIQUES, M. M.; SAITO, R. T. e CUNHA, I. I. L.. 2003. Levantamento das taxas de sedimentação na região costeira do Estado de São Paulo utilizando o radionuclídeo Cs-137. **In:** Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, IX, Recife, 2003. **Resumos.** Recife, 2003, CD-ROM.
- FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER, M. G.; MAHIQUES, M. M., FUKUMOTO, M. M. e CAZZOLI y GOYA, S. 2004. Sedimentação recente e níveis de metais pesados em testemunhos do estuário santista, São Paulo, Brasil. **In:** Congresso de Pesquisas Ambientais e Saúde, IV, Santos, 2004. **Anais.** Santos, 2004, p. 73 – 76.
- FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER, M. G.; MAHIQUES, M. M. e CUNHA, I. I. L. 2006. Distribution of Cs-137, Pu-238 and Pu239+240 in sediments of the southeastern Brazilian shelf - SW Atlantic margin. **Science of the Total Environment**, v. 357, p. 146-159.
- FIGUEIREDO, A. G. e TESSLER, M. G. Topografia e composição do substrato marinho da região Sudeste- Sul do Brasil. 2004 São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Série Documentos REVIZEE: Score Sul, p. 1 - 64.
- FOLK, R. L. e WARD, W. C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, p. 3 - 26.
- 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. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 123p.

- FURTADO, V. V.; TESSLER, M. G. e EICHLER, B. B. 1984. Distribuição de sedimentos de fundo na plataforma continental de São Paulo. **In:** Simpósio Brasileiro sobre os Recursos do Mar, 1, 1984, Rio de Janeiro. Boletim de Resumos do Simpósio Brasileiro sobre os Recursos do Mar. Rio de Janeiro, 1984, p. 15.
- FURTADO, V. V.; BÍCEGO, M. C. e WEBER, R. R. 1987. Modelo de dispersão de óleo na região do Canal de São Sebastião. **Academia de Ciências do Estado de São Paulo**, v. 54, n. II, p. 371-388.
- FURTADO, V. V.; RODRIGUES, M. e BONETI FILHO, J. 1997. Estabilização do nível do mar na plataforma continental do Estado de São Paulo. **In:** Congresso Latino-Americano sobre Ciências do Mar, VII, 1997, Santos. **Resumos Expandidos**. São Paulo, 1997, v. 1, p. 338 – 339.
- FURTADO, V. V. e MAHIQUES, M. M. 1990. Distribuição de sedimentos em regiões costeiras e plataforma continental norte do Estado de São Paulo. **In:** Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira: Síntese dos Conhecimentos, II, 1990, Águas de Lindóia. **Anais**. São Paulo, 1990, publicação ACIESP 71-1, p. 20 - 29.
- FURTADO, V. V.; BARCELLOS, R. L.; CONTI, L. A.; RODRIGUES, M. e MAHIQUES, M. M. Sedimentação. **In:** PIRES - VANIN, A. M. S. (Org.). Oceanografia de um Ecossistema Subtropical: Plataforma de São Sebastião, SP. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008, p. 141 - 180.
- GODOY, J. M.; MOREIRA, I.; WANDERLEY, C.; MENDES, L. B. e BRAGANÇA, M. J. 1998. A study of Guanabara Bay sedimentation rates. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 227, n. 1-2, p. 157 – 160.
- GOLDBERG, E. D. 1963. Geochronology with ^{210}Pb . **In:** International Symposium on Radioactive Dating. Vienna, p. 121 – 131.

- GOLDBERG, E. D. e KOIDE M. 1962. Geochronological studies of deep-sea sediments by the ionium-thorium method. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 26, p. 417 – 450.
- GOLDBERG, E. D.; HODGE, V.; KOIDE, M. e GRIFFIN J.J. 1976. Metal pollution of Tokyo as recorded in sediments of the Palace Moat. **Geochemical Journal**, v. 10, p. 165 – 174.
- GONÇALVES, J. E. 2000. Características e circulação das massas de água no limite do Atlântico Sul entre 20graus e 30graus S. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 133p.
- HAAS, H.; BOER, W. e VAN WEERING, T. C.E. 1997. Recent sedimentation and organic carbon burial in a shelf sea: the North Sea. *Marine Geology*, v. 144, p. 131 - 146.
- HONG, G. H.; KIM, S. H.; CHUNG, C. S.; KANG, D.-J.; SHIN, D.-H.; LEE, H. J. e HAN S.-J. 1997. ^{210}Pb -derived sediment accumulation rates in the southwestern East Sea (Sea of Japan). **Geo-Marine Letters**, v. 17, p. 126 – 132.
- HOSHIKA, A.; SUGUIO, K.; HIRATA, S.; TESSLER, M. G.; MISHIMA, Y. e MAHIQUES, M. M. 1996. Variações decadais nos teores dos elementos metálicos nos sedimentos do estuário santista. In: Simpósio sobre Oceanografia, 3, 1996, São Paulo. **Resumos**. São Paulo, 1996, p. 353.
- HUNG-GWO, W. e YU-CHIA, C. 1998. Particulate fluxes, ^{210}Pb and ^{210}Po measured from sediment trap samples in a canyon on northeastern Taiwan. **Continental Shelf Research**, v. 18, p. 1475 – 1491.
- HURTADO, S. N. 2003. Dinâmica de sedimentação atual associada à contaminação por metais nos sedimentos do Estuário Santista e do Canal de Bertioga, SP. Trabalho de graduação. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 74p.

- INGRAM, R. L. 1971. Sieve Analysis. **In:** CARVER, R. E. (ed.). 1971. Procedures in sedimentary petrology. New York: Wiley-Interscience, p. 49 – 67.
- JOAUNNEAU, J-M; WEBER, O.; GROUSSET, F. E. e THOMAS, B. 1998. Pb, Zn, Cs, Sc and rare earth elements as tracers of the Loire and Gironde particles on the Biscay shelf (SW France). **Oceanologica Acta**, v. 21, n. 2, p. 233 – 241.
- JOUANNEAU, J-M; WEBER, O.; DRAGO, T.; RODRIGUES, A.; OLIVEIRA, A.; DIAS, J. M. A.; GARCIA, C.; SCHMIDT, S. e REYSS, J. L. 2002. Recent sedimentation and sedimentary budgets on the western Iberian shelf. **Progress in Oceanography**, v. 52, p. 261 – 275.
- JONES, G. B. e JORDAN, M. B. 1979. The distribution of organic material and trace metals in sediments from the River Liffey Estuary, Dublin. **Estuarine and Coastal Marine Science**, v. 8, p. 37 – 47.
- KHARKAR, D. P.; THOMSON, J.; TUREKIAN, K. K. e FOSTER, W. O. 1976. Uranium and thorium decay series nuclides in plankton from the Caribbean. **Limnology and Oceanography**, v. 21, p. 294 – 299.
- KNOPPERS, B.; EKAU, W. e FIGUEIREDO, A. G. 1999. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. **Geo-Marine Letters**, v. 19, n. 3, p. 171 - 178.
- KOCZY, F. 1958. Natural radium as a tracer in the ocean. **In:** Procedures of 2nd United Nation International Conference of Peaceful Uses of Atomic Energy. Genebra, 1958, v. 18, p. 351 - 357.
- KOIDE, R. e GOLDBERG, E. D. 1961. Pb-210 in natural waters. **Science**, v. 134, p. 98 – 99.
- KOIDE, M.; SOUTAR, A. e GOLDBERG, E. D. 1972. Marine geochemistry with ²¹⁰Pb. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 14, p. 442 – 446.

- KOIDE, M.; BRULAND, K. W. e GOLDBERG, E. D. 1973. Th-228/Th-232 and Pb-210 geochronologies in marine and lake sediments. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 37, p. 1171 – 1187.
- KOWSMANN, R. A. e COSTA, M. P. A. 1979. Sedimentação quaternária da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/ CENPES/ DINTEP, Série Projeto REMAC, v. 8, 55p.
- KRISHNASWAMI, S.; LAL, D.; MARTIN, J. M. e MEYBECK, M. 1971. Geochronology of lake sediments. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 11, p. 407 – 414.
- KRISHNASWAMI, S.; SOMAYAJULU, B. L. K. e CHUNG, Y. 1975. $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ disequilibrium in the Santa Barbara Basin. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 27, p. 388 – 392.
- KUEHL, S. A.; NITTROUER, C. A. e DeMASTER, D. J. 1982. Modern sediment accumulation and strata formation on the Amazon Continental Shelf. **Marine Geology**, v. 49, p. 279 – 300.
- KUEHL, S. A.; DeMASTER, D. J. e NITTROUER, C.A. 1986a. Nature of sediment accumulation on the Amazon continental shelf. **Continental Shelf Research**, v. 6, p. 209 – 225.
- KUEHL, S. A.; NITTROUER, C. A. e DeMASTER, D. J. 1986b. Distribution of sedimentary structures in the Amazon subaqueous delta. **Continental Shelf Research**, v. 6, p. 311 – 336.
- KUEHL, S. A.; HAIRU, T. M. e MOORE, W. S. 1989. Shelf sedimentation off the Ganges-Brahmaputra river system: Evidence for sediment bypassing to the Bengal Fan. **Geology**, v. 17, p. 1132 – 1135.
- LANSARD, B.; RABOUILLE, C.; DENIS, L. e GRENZ, C. 2008. In situ oxygen uptake rates by coastal sediments under the influence of the Rhône River (NW Mediterranean Sea). **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1501 – 1510.

- LARSONNEUR, C.; BOUYASSE, P. e AUFRET, J. P. 1982. The superficial sediments of the English Chanel and its western approaches. **Sedimentology**, v. 29, n. 6, p. 851 – 864.
- LELAND, H. V.; SHUKLA, S. S. e SHIMP, N. F. 1973. Factors affecting distribution of lead and other trace elements in sediments of southern Lake Michigan. In: SINGER, P. C. (ed). Trace Metals and Metal – Organic Interactions in Natural waters. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Mich., p. 89 – 129.
- LO, C. K. e FUNG, Y. S. 1992. Heavy metal pollution profiles of dated sediment cores from Hebe Haven, Hong Kong. **Water Research**, v. 26, n. 12, p. 1605 - 1619.
- MACARIO, K. D.; ANJOS, R. M.; GOMES, P. R. S.; FIGUEIREDO, A. G.; LACERDA DE SOUZA, C.; BARBOSA, C. F.; COIMBRA, M. M.; ELMORE, D. 2004. Rio de Janeiro: AMS radiocarbon dating on Campos Basin, Southeast Brazilian Continental Slope. Nuclear instruments and methods in Physics Research, Section B: Beam interactions with materials and atoms, p. 535 – 539.
- MACHADO, G. J. 1985. Projeto geoquímica dos sedimentos superficiais da Margem continental brasileira. **Relatório Técnico Final**. Rio de Janeiro: CPRM / CIRM, 1995. 6 volumes.
- MAHIQUES M. M.; MISHIMA, Y. e RODRIGUES, M. 1999. Characteristics of the sedimentary organic matter on the inner and middle continental shelf between Guanabara Bay and São Francisco do Sul, southeastern Brazilian margin. **Continental Shelf Research**, v.19, p. 775 – 798.
- MAHIQUES, M. M.; SILVEIRA, C. A.; SOUSA, S. H. M. e RODRIGUES, M. 2002. Post-LGM sedimentation on the outer shelf - upper slope of the northernmost part of the São Paulo Bight, southeastern Brazil. **Marine Geology**, v. 181, p. 387 – 400.
- MAHIQUES, M. M.; TESSLER, M. G.; CIOTTI, A. M.; SILVEIRA, C. A.; SOUSA, S. H. M.; FIGUEIRA, R. C. L.; TASSINARI, C. C. G. TASSINARI; FURTADO, V.

- V. FURTADO e PASSOS, R. F. 2004. Hydrodynamically driven patterns of recent sedimentation in the shelf and upper slope off Southeast Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 24, p. 1685-1697.
- MAHIQUES, M. M.; FUKUMOTO, M. M.; SILVEIRA, I. C. A.; FIGUEIRA, R. C. L.; BÍCEGO, M. C.; LOURENÇO, R. A. e SOUSA, S. H. M. 2007. Sedimentary changes on the Southeastern Brazilian upper slope during the last 35,000 years. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, n. 1, p. 171 - 181.
- MAHIQUES, M. M.; TASSINARI, C. C. G.; MARCOLINI, S.; VIOLANTE, R. A.; FIGUEIRA, R. C. L.; SILVEIRA, I. C. A.; BURONE, L. e SOUSA, S. H. M. 2008. Nd and Pb isotope signatures on the southeastern South American Upper Margin: Implications for sediment transport and source rocks. **Marine Geology**, v. 250, p. 51 - 63.
- MAHIQUES, M. M.; WAINER, I.; BURONE, L.; SOUZA, S. H. M.; SILVEIRA, I. C. A.; BICEGO, M. C.; ALVES, D. P. V.; FIGUEIRA, R. C. L. e HAMMER, O. 2009. A high-resolution Holocene record on the Southern Brazilian shelf: paleoenvironmental implications. **Quaternary International**, v. 206, p. 52 - 61.
- MAHIQUES, M. M.; SOUSA, S. H. M. S.; FURTADO, V. V.; TESSLER, M. G.; TOLEDO, F. A. L.; BURONE, L.; FIGUEIRA, R. C. L.; KLEIN, D. A.; MARTINS, C. C. e ALVES, DANIEL P. V. 2010. The Southern Brazilian Shelf: general, characteristics, quaternary evolution and sedimentary distribution. **Brazilian Journal of Oceanography (Impresso)**, v. 58, p. 25 - 34.
- MAHIQUES, M. M.; SOUSA, S. H. M.; BURONE, L.; NAGAI, R. H.; SILVEIRA, I. C. A.; FIGUEIRA, R. C. L.; SOUTELINO, R. G.; PONSONI, L. e KLEIN, D. A. Radiocarbon Geochronology of the Sediments of the São Paulo Bight (Southern Brazilian Upper Margin). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. Aceito para publicação.

- MARQUES Jr., A. N.; MONNA, F.; SILVA FILHO, E. V.; FERNEX, F. e SIMÕES FILHO, F. L. 2006. Apparent discrepancy in contamination history of a subtropical estuary evaluated through ^{210}Pb profile and chronostatigraphical markers. **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, p. 532 – 539.
- 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. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 215p.
- MARTINS, C. C. 2000. Variações morfológicas e sedimentares de curto período em perfis praias, praia de Bertioga/SP. São Paulo. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 161p.
- MARTINS, I. R.; URIEN, C. M. e BUTLER, L. W. 1972. Províncias fisiográficas e sedimentos da Margem Continental Atlântica da América do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26, 1972, Belém. **Anais**. Belém, 1972, v. 2, p. 105 – 114.
- MARTINS, I. R.; VILLWOCK, J. A.; MARTINS, L. R. e BENVENUTI, C. E. 1989. The Lagoa dos Patos estuarine ecosystem. **Pesquisas**, v. 22, p. 5 – 44.
- MASQUÉ, P. 1999. Estudi del comportament del ^{210}Pb i el ^{210}Po en el mar catalonoblear i el seu us con radiotracadors. Tesi Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, 130p.
- MATTHAI, C.; BIRCH, G. F.; JENKINSON, A. e HEIJNIS, H. 2001. Physical resuspension and vertical mixing of sediments on a high energy continental margin (Sydney, Australia). **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 52, p. 67 – 89.
- MATSUMOTO, E. e WONG, C. S. 1977. Heavy metal sedimentation in Saanich Inlet measured with ^{210}Pb technique. **Journal of Geophysical Research**, v. 82, p. 54777 – 54827.

- McCALL, P. L.; ROBBINS, J. A. e MATISOFF, G. 1984. ^{137}Cs and ^{210}Pb transport and geochronologies in urbanized reservoirs with rapidly increasing sedimentation rates. **Chemical Geology**, v. 44, n. 1-3, p. 33 - 65.
- MERIAN, E. 1991. Metals and their compounds in the environment. Occurrence, Analysis and Biological Relevance. New York: Basel, 1342p.
- MILIMAN, J. D. 1975. A synthesis. **Contributions to Sedimentology**, v. 4, p. 151 – 175.
- MILIMAN, J. D. 1976. Late Quaternary sedimentation on Atlantic continental margins and the deep sea. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 48, p. 199 – 206.
- MILIMAN, J. D. 1978. Morphology and structure of the upper continental margin of Southern Brazil. **Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists**, v. 62, p. 1029 – 1048.
- MIRANDA, L. B. 1982. Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) e Ilha de São Sebastião (SP). Tese de Livre-Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 123 p. + figuras.
- MIRANDA, L. B. 1985. Forma de correlação T-S de massas de água das regiões costeira e oceânica entre o Cabo de São Tomé (RJ) e a Ilha de São Sebastião (SP), Brasil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 33, n. 2, p. 105 – 119.
- MIRANDA, L. B. e CASTRO FILHO, B. M. 1979. Condições do Movimento Geostrófico das Águas Adjacentes a Cabo Frio (RJ). **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 28, n. 2, p. 79 - 93.
- MIRANDA, L. B. e CASTRO FILHO, B. M. 1995. Variabilidade da circulação e do transporte de volume no Canal de São Sebastião (SP). **Publicação Especial do Instituto Oceanográfico**, v. 11, p. 1 - 9.

- MÖLLER Jr, O. O.; PIOLA, A. R.; FREITAS, A. C. e CAMPOS, E. J. D. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1607 - 1624.
- MOLISANI, M. M.; MARINS, R. V.; MACHADO, W.; PARAQUETTI, H. H. M.; BIDONE, E. D. e LACERDA, L. D. 2004. Environmental changes in Sepetiba Bay, SE Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 4, p. 17 – 27.
- MOORE, W. S. e DYMOND, J. 1988. Correlation of ^{210}Pb removal with organic carbon fluxes in the Pacific Ocean. **Nature**, v.331, p. 339 – 341.
- MORALES, N e HASUI, Y. 2001. Neotectônica e compartimentação morfoestrutural da região sudeste e sua importância. **Geovisão**, Rio Claro, 23 de março de 2001, p. 4 - 5.
- MOREIRA, J. R. G. 1997. Correntes na plataforma e talude continentais ao longo de Santos. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 214p.
- MOZETO, A. A. 2004. Sedimentos e Particulados Lacustres: Amostragens e Análises Biogeoquímicas. In: Bicudo, C. E. de M. e D. de C. Bicudo. (orgs.). Amostragem em Limnologia. São Carlos: RIMA, p. 329 - 351.
- NITTROUER, C. A.; STERNBERG, R. W.; CARPENTER, R. e BENNETT, J. T. 1979. The use of ^{210}Pb geochronology as a sedimentological tool: Application to the Washington Continental Shelf. **Marine Geology**, v. 31, p. 297 – 316.
- NITTROUER, C. A.; DeMASTER, D. J.; McKEE, B. A.; CUTSHALL, N. H. e TRIER, R. M. 1983/1984. The effect of sediment mixing on Pb-210 accumulation rates for the Washington continental shelf. **Marine Geology**, v. 54, p. 201 – 221.
- NITTROUER, C. A. e DeMASTER, D. J. 1996. The Amazon shelf setting: Tropical, energetic, and influenced by a large river. **Continental Shelf Research**, v. 16, p. 533 - 573.

- NOLLER, J. S. 2000. Lead-210 Geochronology. In: NOLLER, J. S.; SOWERS, J. M. e LETTIS, W. R. (eds). Quaternary Geochronology: Methods and Applications. Florida: American Geophysical Union, p. 115 – 120.
- NOZAKI, Y. e TSUNOGAI, S. 1973. Lead-210 in the North pacific and the transport of terrestrial material through the atmosphere. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 20, p. 88 – 92.
- NOZAKI, Y. e TSUNOGAI, S. 1976. ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po disequilibria in the western North Pacific. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 32, p. 313 – 321.
- NOZAKI, Y.; TSUNOGAI, S. e NISHIMURA, M. 1973. Lead-210 in the Japan Sea. **Journal of the Oceanographical Society of Japan**, v. 29, p. 251 – 256.
- NOZAKI, Y.; THOMPSON, J. e TUREKIAN, K. K. 1976. The distribution of ^{210}Pb and ^{210}Po in the surface waters of the Pacific Ocean. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 32, p. 304 – 312.
- OKTAY, S. D.; SANTACHI, P. H.; MORAN, J. E. e SHARMA, P. 2000. The ^{129}I bomb pulse recorded in Mississippi River Delta sediments: Results from isotopes of I, Pu, Cs, Pb and C. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 64, p. 989 – 999.
- OLIVEIRA, G. H.; PEIXOTO, T. C. S.; PATCHINEELAM, S. M.; PATCHINEELAM, S. R. e BAPTISTA-NETO, J. A. 2004. ^{210}Pb dating of recent sediments on three coastal environments of Rio de Janeiro State, Brazil. In: International Symposium Environmental Geochemistry in Tropical COUNTRIES, 4, 2004, Búzios. **Resumos**. Rio de Janeiro, 2004. CD-ROM.
- ORTEC. 2010. Disponível em <www.ortec-online.com/download.asbx>. Acesso dia 20 de outubro de 2010.
- OTHMAN, I.; AL-MASRI, M. S. e AL-RAYYES, A. H. 2000. Sedimentation rates and pollution history of the eastern Mediterranean Sea: Syrian coast. **The Science of the Total Environment**, v. 248, p. 27 – 35.

- OWEN, R. B. 2005. Modern fine-grained sedimentation—spatial variability and environmental controls on an inner pericontinental shelf, Hong Kong. **Marine Geology**, v. 214, p. 1 – 26.
- PALMA, J. J. C. Fisiografia da Área Oceânica. **In:** SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R. e ASMUS, H. E. 1984. Geologia do Brasil. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral, p. 429 – 441.
- PANDARINATH, K. e SURENDRA, P. V. 2004. Dating of sediment layers and sediment accumulation studies along the Western Continental Margin of India: a review. **International Geology Review**, v. 46, p. 939 – 956.
- PANTAROTO, H. L.; VIERA JÚNIOR, M. e FIGUEIREDO, P. J. M. 2007. A eliminação do chumbo da gasolina. **In:** Mostra Acadêmica UNIMEP, 5, Piracicaba, 2007. **Anais**. Piracicaba, 2007, p. 16 – 22.
- PASCHOA, A. S. 2000. More than forty years of studies of natural radioactivity in Brazil. **Technology**, v. 7, p. 193 - 212.
- PATCHINEELAM, S. R. e SMOAK, J. M. 1997. Rates of sediment accumulation and particle mixing based on radiochemical measurements from some Brazilian coastal sediments. **In:** Congresso Latino-Americano sobre Ciência do Mar (COLACMAR), VII, 1997, Santos. **Anais de Resumos Expandidos**. São Paulo, 1997, v. 1, p. 268 – 269.
- PATCHINEELAM, S. R. e SMOAK, J. M. 1999. Sediment accumulation rates along the inner eastern Brazilian continental shelf. **Geo - Marine Letters**, v. 19, p. 196 – 201.
- PEMPKOWIAK, J. 1991. Enrichment factors of heavy metals in the Southern Baltic surface sediments dated with ^{210}Pb and ^{137}Cs . **Environment International**, v. 17, p. 421 – 428.
- PENNINGTON, W.; CAMBRAY, R. S. e FISHER, E. M. 1973. Observations on lake sediment using fallout Cs-137 as a tracer. **Nature**, v. 242, p. 324 – 326.

- PIOLA, A. R.; CAMPOS, E. J. D.; MOLLER, O.; M. CHARO e MARTINEZ, C. 2000. Subtropical shelf front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research IS**, v. 105, n. C3, p. 6565 – 6678.
- PIOLA, A. R. e ROMERO, S. I. 2004. Analysis of space-time variability of the Plata River Plume. **Gayana**, v. 68, p. 482 - 486.
- PUIG, P.; PALANQUES, A.; SANCHEZ-CABEZA, J. A. e MASQUÉ, P. 1999. Heavy metals in particulate matter and sediments in the southern Barcelona sedimentation system North-western Mediterranean. **Marine Chemistry**, v. 63, p. 311 – 329.
- QMCWEB (Revista Eletrônica do Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina). 2001. Química Nuclear. Florianópolis, v. 44. Disponível em < <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/exemplar44.html>>. Acesso dia 23 de maio de 2009.
- RAMA; M. K. e GOLDBERG, E. D. 1961. Lead 210 in natural waters. **Science**, v. 134, p. 98 – 99.
- RECUERO, F. S.; LONGO, K. M. e FREITAS, S. R. 2004. Estudo do transporte das partículas de aerossol de queimada via sensoriamento remoto. **In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, XXX, Fortaleza, 2004. Anais.** Fortaleza, 2004, Disponível em <<http://www.cbmet.com/cbm-files/22-23d2eb930e7012d69d2264eb1fecda41.doc>>. Acesso em 13 de julho de 2010.
- ROBBINS, J. A. 1978. Geochemical and geophysical applications of radioactive lead. **In: NRIAGU, J. O. (ed.). The Biogeochemistry of Lead in the Environment.** Amsterdam: Elsevier, p. 285 – 393.
- ROBBINS, J. A. e EDGINTON, D. N. 1975. Determination of recent sedimentation rates in Lake Michigan using Pb-210 and Cs-137. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 39, p. 285 – 304.

- ROCHA, J.; MILLIMAN, J. D.; SANTANA, C. I. e VICALVI, M. A. 1975. Southern Brazil. Upper continental margin sedimentation off Brazil. **Contribution to Sedimentology**, v.4, p.117 – 150.
- RODRIGUES, M. 1996. Sedimentação atual nas enseadas de Ubatumirim e Picinguaba e Plataforma Interna adjacente, Ubatuba, Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 158p.
- RODRIGUES, Marcelo; MAHIQUES, M. M. e TESSLER, M. G. 2002. Sedimentação atual nas enseadas de Ubatumirim e Picinguaba, região norte de Ubatuba, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 5, p. 27 – 45.
- RODRIGUES, M.; FURTADO, V. V.; TESSLER, M. G. e MAHIQUES, M. M. 2003. Atlas Sedimentológico da Plataforma Continental de São Paulo. Texto explicativo e mapas. São Paulo: Fundação de Estudos e Pesquisas Aquáticas (FUNDESPA), 34p.
- RODRIGUES, M. 2009. Modelagem numérica do comportamento de derrames de óleo como método de gestão ambiental, em planos de contingência, aplicada ao Canal de São Sebastião (SP). Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, 130p.
- SAITO, R. T. 2002. Radionuclídeos (^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{210}Po e ^{137}Cs) no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape: estudos ambientais. Tese de Doutorado. IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 163p.
- SAITO, R. T.; FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER, M. G. e CUNHA, I. I. L. 2001a. ^{210}Pb and ^{137}Cs geochronologies in the Cananéia-Iguape estuary (São Paulo, Brazil). **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 249, n. 1, p. 257 – 261.
- SAITO, R. T.; FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER, M. G. e CUNHA, I. I. L. 2001b. Geochronology of sediments in the Cananeia-Iguape estuary and in southern

continental shelf of Sao Paulo State, Brazil. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 250, n. 1, p. 109 – 115.

SANCHEZ-CABEZA, J. A.; MASQUÉ, P.; ANI-RAGOLTA, I.; MERINO, J.; FRIGNANI, M.; ALVISI, F.; PALANQUES, A. e PUIG, P. 1999. Sediment accumulation rates in the southern Barcelona continental margin (NW Mediterranean Sea) derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology. **Progress in Oceanography**, v. 44, p. 313 – 332.

SANDERS, C. J., SANTOS, I. R.; SILVA-FILHO, E. V. e PATCHINEELAM, S. R. 2006. Mercury flux to estuarine sediments, derived from Pb-210 and Cs-137 geochronologies (Guaratuba Bay, Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, p. 1085 – 1089.

SANFORD, M. W.; KUEHL, S. A. e NITTROUER, C. A. 1990. Modern sedimentary processes in the Wilmington Canyon area, US east coast. **Marine Geology**, v. 92, p. 205 – 226.

SANT'ANNA NETO, J. L. 1990. Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, 156p.

SANTOS, C. S. e BAPTISTA NETO, J. A. 2009. Concentrações de metais pesados em testemunho sedimentar da Baía de Guanabara-RJ. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, XIII, Viçosa, 2009. **Anais**. 2009, Viçosa, Disponível em http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo11/017.pdf>. Acesso em 12 de maio de 2010.

SANTOS, I. R.; BURNETT, W. C. e GODOY, J. M. 2008. Radionuclides as tracers of coastal processes in Brazil: Review, synthesis, and perspectives. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 56, n. 2, p. 115 – 131.

SANTSCHI, P. H e ROWE, G. T. 2008. Radiocarbon-derived sedimentation rates in the Gulf of Mexico. **Deep-Sea Research II**, v. 55, p. 2572 – 2576.

- SHANNON, L. V.; CHERRY, R. D. e ORREN, M. J. 1970. Polonium 210 and lead 210 in the marine environment. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 34, p. 701 – 711.
- SHEPARD, F. P. 1954. Nomenclature based on sand-silt clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 24, n. 3, p. 151 – 158.
- SIGNORINI, S. R. 1974. Contribuição ao Estudo da Circulação e do Transporte de Volume da Corrente do Brasil entre o Cabo Frio e A Baía de Guanabara. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 103p.
- SIGNORINI, S. R. 1978. On the circulation and the volume transport of the Brazil Current between the Cape of São Tomé and Guanabara Bay. **Deep-Sea Research**, v. 25, p. 481 - 490.
- SIGNORINI, S. R; MIRANDA, L. B.; EVANS, D. L.; STEVENSON, M. R e INOSTROZA, H. M. V. 1989. Corrente do Brasil: estrutura térmica entre 19° e 25°S e circulação geostrófica. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 37, n. 1, p. 33 – 49.
- SILVA, C. Radiação natural. São Paulo. Disponível em <http://ciencia.hsw.uol.com.br/radiacao1.htm>. Acesso no dia 25/10/09.
- SILVA, L. S. 1995. Condições oceanográficas no canal de São Sebastião e na região costeira adjacente: Variações sazonais entre fevereiro de 1994 e março de 1995. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 128p.
- SILVA, L. S.; MIRANDA, L. B. e CASTRO FILHO, B. M. 2004. Estudo numérico da circulação e da estrutura termohalina na região adjacente à ilha de São Sebastião (SP). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 22, n. 3, p. 197 - 221.

- SILVEIRA, I. C. A.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S.; IKEDA, Y. 2000. A Corrente do Brasil ao Largo do Sudeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171 - 183.
- SMITH, J. 2001. Why should we believe ^{210}Pb sediment geochronologies? **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 55, p. 121 – 123.
- SMOAK, J. M. e PATCHINEELAM, S. R. 1999. Sediment mixing and accumulation in a mangrove ecosystem: Evidence from ^{210}Pb , ^{234}Th and ^7Be . **Mangroves and Salt Marshes**, v. 3, p. 17 - 27.
- SOMAYAJULU, B. L. K. e CRAIG, H. 1976. Particulate and soluble ^{210}Pb activities in the deep sea. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 32, p. 268 – 276.
- SOMBRITO, E. Z.; BULOS, A. M.; SANTA MARIA, E.J.; HONRADO, M.C.V.; AZANZA, R. V. e FURIO, E. F. 2004. Application of ^{210}Pb -derived sedimentation rates and dinoflagellate cyst analyses in understanding *Pyrodinium bahamense* harmful algal blooms in Manila Bay and Malampaya Sound, Philippines. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 76, p. 177 – 194.
- SOUZA, M. C. A. 2000. A Corrente do Brasil ao largo de Santos: medições diretas. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 169p.
- SOUZA, M. C.; ANGULO, R. J.; TESSLER, M. G. e FIGUEIRA, R. C. L. 2001. Taxas de sedimentação no complexo estuarino da baía de Paranaguá, Estado do Paraná, estimadas a partir do método de datação por espectrometria gama: resultados preliminares. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA), VIII, 2001, Imbé. **Boletim de Resumos**. Imbé, 2001, p. 182 – 183.
- STEVENSON, M. R.; DIAS-BRITO, D.; STECH, J. L. e KAMPEL, M. 1998. How do cold water arrive in a tropical bay near Rio de Janeiro, Brazil? **Continental Shelf Research**, v. 18, n. 13, p. 1595 – 1612.

- SUGUIO, K. 1973. Introdução à sedimentologia. São Paulo: Edgard Blucher, 317p.
- SUGUIO, K. 1999. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: passado + presente = futuro?*. São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 366p.
- TESSLER, M. G. 1988. Dinâmica sedimentar quaternária no litoral sul-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. Tese de Livre Docência. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 155p.
- TESSLER, M. G.; FIGUEIRA, R. C. L.; MAHIQUES, M. M.; FUKUMOTO, M. M. e CIAPINA, E. M. P. 2004. Sedimentation rates and contamination levels by heavy metals at the shallow sedimentary columns from Santos Estuary and Bay, SP - Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39 (SI), p. 713 – 717.
- THOMSON, J. e TUREKIAN, K. K. 1976. ^{210}Po and ^{210}Pb distributions in ocean water profiles from eastern South Pacific. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 32, p. 297 – 303.
- TOLDO, E. E.; DILLENBURG, S. R.; CORREA, I. C. S. e ALMEIDA, L. E. S. B. 2000. Holocene sedimentation in Lagoa dos Patos Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 16, n. 3, p. 816 – 822.
- TOZZI, H. A. M. 1999. Influência das tempestades extratropicais sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí, RS. Campanha do outono e inverno de 1996. Dissertação de mestrado. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica. 115p.
- TRUMBORE, S. E. 2000. Constraints on below-ground carbon cycling from radiocarbon: the age of soil organic matter and respired CO₂. **Ecological Applications**, v. 10, n. 2, p. 399 - 411.

- UFMA (UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO). 2010. Métodos Estatísticos em Epidemiologia. 8p. Disponível em <<http://www.pgsc.ufma.br/arquivos/regressaolinear.pdf>>. Acesso dia 23 de novembro de 2010.
- UNSCEAR (UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION). 2000. Sources and effect of ionizing radiation. New York: United Nations, 50p.
- USEPA (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). 1994. Standards for the use and disposal of sewage sludge. Washington: EPA, 1994, 12p.
- VELHOTE, D. 1998. Modelagem numérica da ressurgência de quebra da plataforma induzida por vórtices ciclônicos da corrente do Brasil na Bacia de Santos. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 134p.
- WALLING, D. E. e HE, Q. 1992. Interpretation of Caesium-137 profiles in lacustrine and other sediments: the role of the catchment-derived input. **Hydrobiologia**, v. 235, p. 219 – 230.
- WHEATCROFT, R. A. e SOMMERFIELD, C. K. 2005. River sediment flux and shelf sediment accumulation rates on the Pacific Northwest margin. **Continental Shelf Research**, v. 25, p. 311 – 332.
- WILKEN, R. D.; MOREIRA, I. e REBELLO, A. 1986. ^{210}Pb and ^{137}Cs fluxes in a sediment core from Guanabara Bay, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 58, n. 1-2, p. 195 – 198.
- ZABORSKA, A.; CARROLL, J. L.; PAPUCCI, C.; TORRICELLI, L.; CARROLL, M. L.; WALKUSZ-MIOTK, J. e PEMPKOWIAK, J. 2008. Recent sediment accumulation rates for the western margin of the Barents Sea. **Deep-Sea Research II**, v. 55, p. 2352 – 2360.

- ZANARDI, E.; BÍCEGO, M. C. e MIRANDA, L. B. 1999. Distribution and origin of hydrocarbons in the São Sebastião Channel, SP, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 38, p. 410 – 413.
- ZEMBRUSCKI, S. G. 1979. Geomorfologia da margem continental sul-brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. **In**: CHAVES, H. A. F. (ed.). Relatório Final do Projeto REMAC. Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas adjacentes. Rio de Janeiro: Petrobras-CENPES-DINTEP. Série Projeto REMAC, n. 7, p. 129 – 177.
- ZEMBRUSCKI, S. G.; BARRETO, H. T.; PALMA, J. C. E MILIMAN, J. D. 1972. Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira. **In**: Congresso Brasileiro de Geologia, XXVI, 1972, Belém. **Anais**. Belém, 1972, p. 187 – 209.
- ZUO, Z.; EISMA, D. e BERGER, G. W. 1989. Recent sediment deposition rates in the Oyster Ground, North Sea. **Netherlands Journal of Sea Research**, v. 23, n. 3, p. 263 – 269.

Anexos

ANEXO 01. Teor de carbonato biodetrítico, areia e lama dos testemunhos utilizados neste trabalho

Testemunho	Amostras	Teor de CaCO_3	Teor de Areia	Teor de Lama
6669	0-2	20,08	85,31	14,46
	2-4	19,80	83,92	15,95
	4-6	19,00	87	13
	6-8	16,98	90,65	7,94
	8-10	16,20	84,82	15,1
	10-12	18,40	87,28	12,72
	12-14	18,74	88,24	11,34
	14-16	20,74	85,99	13,92
	16-18	19,00	81,76	18,24
	18-20	19,00	86,61	13,16
	20-22	20,30	87,61	12,22
	22-24	20,56	82,89	16,81
	24-26	19,58	83,63	16,38
	26-28	19,18	85,42	14,32
	28-30	19,86	86,07	13,93
6670	0-2	24,00	9,56	90,44
	2-4	24,00	10,10	89,91
	4-6	28,00	4,38	95,62
	6-8	24,00	2,71	97,28
	8-10	22,00	12,06	87,94
	10-12	22,00	8,52	91,48
	12-14	23,00	7,15	92,85
	14-16	25,00	4,20	95,80
	16-18	26,00	12,66	87,33
	18-20	25,00	7,08	92,91
	20-22	24,00	4,10	95,89
	22-24	26,00	5,91	94,09
	24-26	26,00	12,91	87,09
	26-28	18,00	5,75	94,26
	28-32	26,00	7,94	92,06
6678	0-2	66,14	46,29	53,71
	2-4	66,12	61,39	38,61
	4-6	59,38	57,54	42,46
	6-8	67,59	51,67	48,32
	8-10	58,09	48,76	51,24
	10-12	55,15	48,41	51,6
	12-14	58,86	46,63	53,37
	14-16	65,11	51,92	48,07
	16-18	67,45	49,83	50,16
	18-20	63,95	42,19	57,81
	20-23	65,23	57,85	42,15
6680	0-2	35,00	24,97	75,03
	2-4	32,00	23,69	76,31
	4-6	29,00	28,54	71,46
	6-8	26,00	23,91	76,09
	8-10	24,63	20,54	79,47
	10-12	26,33	18,83	81,06
	12-14	27,83	20,69	79,31
	14-16	24,22	20,4	79,6

6680 (Continuação)	16-18	29,71	13,52	86,48
	18-20	21,14	13,6	86,41
	20-22	20,90	12,4	87,6
	22-24	25,00	14,3	85,7
	24-28	18,00	13,7	86,3
6735	0-2	25,00	59,18	40,82
	2-4	20,41	45,60	54,40
	4-6	17,50	64,95	35,05
	6-8	16,53	52,79	47,21
	8-10	19,36	38,91	61,09
	10-12	18,08	56,23	43,77
	12-14	16,95	58,23	41,77
	14-16	19,56	43,73	56,27
	16-18	19,77	49,56	50,44
	18-20	16,05	43,35	56,65
	20-22	19,37	51,63	48,37
	22-24	17,56	40,58	59,42
	24-26	20,04	58,92	41,08
	26-28	17,33	61,23	38,77
	28-30	16,45	35,26	64,74
6740	0-2	25,97	6,92	93,08
	2-4	39,31	1,73	98,27
	4-6	29,90	8,08	91,93
	6-8	28,56	9,27	90,72
	8-10	31,11	6,41	93,60
	10-12	23,51	7,10	92,90
	12-14	22,91	9,25	90,75
	14-16	24,01	9,64	90,36
	16-18	21,23	6,51	93,49
	18-20	21,57	8,90	91,11
	20-22	26,63	6,02	93,98
6746	0-2	21,25	27,93	72,06
	2-4	20,79	27,48	72,51
	4-6	21,10	26,57	73,42
	6-8	21,16	22,55	77,45
	8-10	19,88	22,40	77,60
	10-12	20,05	24,08	75,92
	12-14	20,27	19,42	80,58
	14-16	21,30	17,88	82,05
	16-18	20,12	24,08	75,92
	18-20	19,92	21,00	79,00
	20-22	20,61	21,45	78,56
7237	0-2	13,20	15,24	84,76
	2-4	11,63	9,31	90,69
	4-6	5,02	8,68	91,32
	6-8	5,73	7,88	92,13
	8-10	6,89	5,45	94,55
	10-12	13,88	4,84	95,16
	12-14	9,49	5,36	94,64
	14-16	11,87	6,38	93,62
	Base	9,45	5,35	94,65
7353	0 - 0,5	13,51	13,39	86,61
	0,5 - 1	15,77	14,44	85,56
	1 - 1,5	13,68	24,07	75,93
	1,5 - 2	13,44	21,77	78,23
	2 - 2,5	11,33	12,30	87,70
	2,5 - 3	8,33	10,14	89,86

7353 (Continuação)	3 - 3,5	10,63	17,66	82,34
	3,5 - 4	13,42	16,15	83,85
	4 - 4,5	9,51	13,04	86,96
	4,5 - 5	6,67	26,19	73,81
	5 - 5,5	10,97	23,99	76,01
	5,5-6	31,46	23,12	76,88
	6 - 6,5	10,92	14,41	85,59
	6,5 - 7	16,50	28,05	71,95
	7 - 7,5	3,04	16,10	83,90
	7,5 - 8	Sem dados	Sem dados	Sem dados
	8 - 8,5	12,34	11,32	88,68
	8,5 - 9	4,01	21,07	78,93
7373	0 - 0,5	43,92	4,59	95,41
	0,5 - 1	46,85	5,31	94,69
	1 - 1,5	43,37	3,84	96,16
	1,5 - 2	46,43	3,05	96,95
	2 - 2,5	43,58	4,46	95,54
	2,5 - 3	47,71	4,67	95,33
	3 - 3,5	41,36	3,56	96,44
	3,5 - 4	43,79	18,47	81,53
	4 - 4,5	44,36	3,41	96,59
	4,5 - 5	36,73	2,12	97,88
	5 - 5,5	43,96	2,23	97,77
	5,5-6	44,50	2,85	97,15
	6 - 6,5	46,66	4,27	95,73
	6,5 - 7	44,31	3,41	96,59
	7 - 7,5	52,08	3,05	96,95
	7,5 - 8	43,27	2,86	97,14
	8 - 8,5	41,06	3,00	97,00
	8,5 - 9	46,90	7,42	92,58
	9 - 9,5	44,13	6,68	93,32
	9,5 - 10	42,17	4,18	95,82
	10 - 10,5	44,69	3,81	96,19
	10,5 - 11	46,51	3,95	96,05
	11 - 11,5	46,23	2,81	97,19
	11,5 - 12	46,34	3,94	96,06
	12 - 12,5	46,01	3,85	96,15
	12,5 - 13	46,68	7,34	92,66
	13 - 13,5	47,00	8,88	91,12
	13,5 - 14	48,85	9,50	90,50
	14 - 14,5	45,48	6,20	93,80
	14,5 - 15	33,11	2,32	97,68
	15 - 15,5	31,82	2,12	97,88
7744	0-1	12,93	27,17	65,48
	1-2	9,02	31,71	53,35
	2-3	11,82	27,93	58,86
	3-4	14,12	24,51	63,01
	4-5	13,01	27,84	57,75
	5-6	12,79	35,81	48,83
	6-7	13,75	29,97	58,46
	7-9	10,27	27,95	63,09
	9-10	14,59	31,92	57,12
	10-11	13,64	31,33	58,14
	11-12	13,26	37,89	48,58
	12-13	12,7	33,90	57,04
	13-14	13,46	38,83	43,76
	14-15	15,22	31,43	47,59
	15-17	12,41	51,19	32,09

7745	0-1	16,91	1,69	98,31
	1-2	16,94	1,26	98,75
	2-3	19,11	1,66	98,34
	3-4	18,17	1,69	98,31
	4-5	16,74	2,69	97,31
	5-6	18,65	3,49	96,51
	6-7	17,98	2,91	97,09
	7-8	16,83	2,96	97,04
	8-9	17,95	4,23	95,77
	9-10	19,09	5,93	94,07
	10-11	20,25	6,86	93,14
	11-12	20,96	6,37	93,63
	12-13	18,11	5,30	94,70
	13-14	17,3	3,51	96,49
	14-15	16,45	6,77	93,23
	15-16	16,87	8,14	91,86
	16-17	18,88	5,84	94,16
	17-18	21,21	6,02	93,99
	18-20	17,86	7,66	92,33

ANEXO 02. Referências e Teores de Pb, Cu e Zn nos testemunhos utilizados neste trabalho

Referências		Pb	Cu
Clark (ppm)	Crosta	13	55
	Granito	49	13
CETESB (ppm)	TEL*	30,2	18,7
	PEL**	112	108
CONAMA 344/04 (mg.kg-1)	Nível 1	46,7	34
	Nível 2	218	270

Testemunho	Amostra	Pb (mg.kg-1)	Cu (mg.kg-1)	Zn (mg.kg-1)
6669	0-2	0,2828	0,1618	0,9198
	2-4	0,3480	0,1567	0,8401
	4-6	0,3962	0,1508	0,9231
	6-8	0,5441	0,2506	1,2720
	8-10	0,3252	0,1437	0,8874
	10-12	0,3868	0,1572	1,0063
	12-14	0,4268	0,2116	1,6931
	14-16	0,4274	0,2040	1,3147
	16-18	0,2725	0,1283	0,8279
	18-20	0,4179	0,1991	1,0866
	22-24	0,2665	0,1707	0,9280
	24-26	0,2393	0,1648	0,9219
	26-28	0,3010	0,1529	0,9637
	28-30	0,3841	0,2053	1,2635
	30-33	0,3187	0,1707	1,1825
6678	0-2	16,5705	8,7321	45,0568
	2-4	22,9215	11,4996	57,7571
	4-6	20,1366	9,9859	46,1611
	6-8	12,5207	5,2773	117,5497
	8-10	12,6854	7,0843	39,0320
	10-12	13,6628	8,0039	46,5116
	12-14	11,2423	7,7384	75,3232
	14-16	13,5219	8,9037	51,5914
	16-18	11,7624	6,8381	41,0686
	18-20	10,8113	5,8640	31,6554
6680	0-2	16,2602	6,8639	45,3152
	2-4	15,5943	5,8839	37,7408
	4-6	13,9938	6,2273	41,5617
	6-8	12,4852	6,0849	39,6898
	8-10	9,6892	4,1777	30,8292
	10-12	14,0637	5,0950	31,5815
	12-14	14,8783	5,3335	34,4219
	14-16	11,1809	5,2010	37,5628
6735	16-18	11,7946	4,2900	32,8400
	0-2	31,5470	9,5697	48,3105
	2-4	13,4427	0,8066	48,2592
	4-6	12,2405	10,2724	48,1219

6735 (Continuação)	6-8	11,6035	10,2624	43,3819
	8-10	11,7988	10,5738	41,7795
	10-12	11,0121	9,8985	44,6672
	12-14	11,0912	10,1968	38,7597
	14-16	10,3107	8,8377	39,9036
	16-18	8,5984	8,4860	36,9788
	18-20	10,2486	11,0143	38,7560
	20-22	10,9360	10,4472	44,9658
	22-24	8,7761	8,1238	36,0531
	24-26	9,9333	9,0000	41,6000
	26-28	8,7282	7,2188	39,3752
	28-32	11,5979	8,9132	48,8617
6740	0-2	212,7202	7,8964	33,9493
	2-4	8,1408	5,2407	32,8686
	4-6	8,9742	5,2866	34,8091
	6-8	10,0860	7,1649	39,5723
	8-10	9,8825	7,0513	38,2479
	10-12	10,2799	7,7503	41,2271
	12-14	9,9725	7,2727	40,1102
	14-16	10,0708	7,4148	39,9513
	16-18	12,6217	9,1988	40,2182
	18-20	9,0550	5,9818	38,8541
	20-22	8,9381	7,0228	31,8153
	22-24	9,4298	7,2791	35,0722
	24-26	9,4632	7,0836	33,9790
	26-28	9,2735	7,0786	37,7524
	28-32	8,2645	5,0579	36,6942
6746	0-2	12,1427	5,2734	41,3544
	2-4	10,2055	5,0200	40,1324
	4-6	10,0109	4,9578	39,0902
	6-8	9,8128	4,8418	36,9270
	8-10	10,1804	5,1418	39,3041
	10-12	10,4057	4,9526	38,8567
	12-14	9,8039	5,3487	40,4567
	14-16	8,5314	3,9732	30,7130
7744	0-1	17,2572	12,7520	60,7819
	1-2	18,9316	17,1509	80,0375
	2-3	18,0088	17,3293	81,8892
	3-4	13,8073	11,1887	55,8641
	4-5	10,2857	7,5325	36,8831
	5-6	17,4419	15,9599	75,0114
	6-7	17,9610	17,1057	79,5416
	7-9	14,5823	13,2351	63,2430
	9-10	16,6317	16,1940	77,7311
	10-11	17,5439	17,5439	306,1576
	11-12	16,3648	14,5121	77,3981
	12-13	16,2167	15,6907	76,4376
	13-14	18,8528	17,3675	85,4662
	14-15	17,1254	15,1292	79,4285
	15-17	24,7741	23,2160	114,9891
7745	0-1	13,4269	11,4943	55,8438
	1-2	11,8481	10,2278	48,8101
	2-3	11,7958	9,3553	46,9799
	3-4	12,2063	10,4771	51,0630
	4-5	10,9958	9,5057	47,0661
	5-6	11,0869	10,4652	51,2900
	6-7	11,9477	10,1452	50,7776
	7-8	11,3355	9,6867	48,1245

7745 (Continuação)	8-9	10,6505	8,1445	42,1844
	9-10	10,9493	10,1520	53,5771
	10-11	11,7028	10,9513	55,1857
	11-12	11,9620	10,8939	53,0813
	12-13	12,0380	10,0845	48,3633
	13-14	13,2656	12,2292	60,6280
	14-15	13,3004	13,5150	65,1078
	15-16	12,8456	10,7228	56,3902
	16-17	12,2133	10,0361	51,2957
	17-18	12,9801	12,7673	63,3046
	18-20	12,0221	12,0221	58,1609

ANEXO 03. Exemplo das planilhas de cálculo das atividades de ^{210}Pb e ^{137}Cs e a obtenção da taxa de sedimentação do testemunho 7237.

7237_ok.xls [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel uso não comercial															
Início Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição															
Recortar Copiar Formatar Pincel			Arial 10 A A ⁺ N I S [] [] [] []			Quebrar Texto Automaticamente Mesclar e Centralizar			Número % 000 000 00 00 00 00			Formatação Condicional Estilos de Célula Inserir Excluir Formatar Células			
R33															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Prof (cm)	Cont(PbN)	Erro	Tempo	(C/T)*1000	massa	Pb-BG	Erro	Fator aa	Cont(Fator)	Erro	Pb(valor médio)	Cont-Pb(médio)	Cont-Pb(maior valor)	Erro
2	1803	69	122000	1478	0.00770	0.9524	0.0364	1.11772	1.1783	0.0451	0.3597	818,62	734,52	28,11	
3	1784	68	122000	1462	0.00714	1.0053	0.0383	1.1313	1.2742	0.0486	0.4438	914,47	830,37	31,65	
4	1769	71	122000	1450	0.00912	0.7735	0.0310	1.14892	1.0103	0.0405		650,61	566,51	22,74	
5	1661	70	122000	1361	0.00869	0.7099	0.0299	1.06899	0.8180	0.0345		458,33	374,23	15,77	
6	1631	68	122000	1337	0.00622	0.9523	0.0397	1.08871	1.1430	0.0477		783,30	699,20	29,15	
7	1612	68	122000	1321	0.00608	0.9486	0.0400	1.12958	1.2302	0.0519		870,54	786,44	33,17	
8	1600	72	122000	1311	0.01009	0.5619	0.0253	1.06604	0.6477	0.0291		288,02	203,92	9,18	
9	1543	70	122000	1265	0.01008	0.5161	0.0234	1.08716	0.6255	0.0284		265,75	181,65	8,24	
10															
11		572	60	122000	469										
12	BG	983	60	122000	806										
13		854	60	122000	700										
14	BG	1186	61	122000	972										
15		878	59	122000	720										
16		977	60	122000	801										
17	média	908	60	122000	745										
18															
19															

7237_ok.xls [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel uso não comercial															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	Prof (cm)	Cont(PbN)	Erro	Tempo	(C/T)*1000000	massa	Pb-BG	Erro	Fator aa	Cont(Fator)	Erro	PbN-RaG	In	PbN-RaG(médio)	Erro
2	1803	69	122000	1478	0.00770	0.9524	0.0364	1.11772	1.1783	0.0451	148,2285	4,9908	163,3389	17,7943	5,0958
3	1784	68	122000	1462	0.00714	1.0053	0.0383	1.1313	1.2742	0.0486	173,5768	5,1566	177,9840	19,3803	5,1817
4	1769	71	122000	1450	0.00912	0.7735	0.0310	1.14892	1.0103	0.0405	138,3381	4,9297	137,6698	15,0901	4,9249
5	1661	70	122000	1361	0.00869	0.7099	0.0299	1.06899	0.8180	0.0345	109,5158	4,6961	108,2914	11,9512	4,6848
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14	1600	72	122000	1311	0.01009	0.5619	0.0253	1.06604	0.6477	0.0291	93,2820	4,5356	82,2702	9,1718	4,4100
15	1543	70	122000	1265	0.01008	0.5161	0.0234	1.08716	0.6255	0.0284	90,9472	4,5103	78,8675	8,8041	4,3678
16															
17															
18															
19															

BG	572	60	122000	469											
BG	983	60	122000	806											
BG	854	60	122000	700											
BG	1186	61	122000	972											
BG	878	59	122000	720											
BG	977	60	122000	801											
média	908	60	122000	745											

TS = 0,03176/0,0437
TS=0,6403 cm/ano

TS = 0,03176/0,0599
TS= 0,4947 cm/ano

[illegible]