

## LEVANTAMENTO DAS TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO NA REGIÃO COSTEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO UTILIZANDO O RADIONUCLÍDEO $^{137}\text{Cs}$

Rubens C. L. Figueira<sup>1</sup>; Keila A. Zanini<sup>2</sup>; Moysés G. Tessler<sup>3</sup>; Michel M. Mahiques<sup>4</sup>; Roberto T. Saito<sup>5</sup>; Ieda I. L. Cunha<sup>6</sup>.  
<sup>1</sup>D. Sc. em Ciências, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Cruzeiro do Sul. Rua Dr. Ussiel Cirilo, 225, São Paulo, SP. CEP 08060-070. e-mail: [figueira@curiango.ipen.br](mailto:figueira@curiango.ipen.br)

<sup>2</sup>Graduando em Ciências Biológicas, bolsista de Iniciação Científica, Centro de Ciências Biológicas, Universidade Cruzeiro do Sul. e-mail: [keilazanini@bol.com.br](mailto:keilazanini@bol.com.br)

<sup>3</sup>D. Sc. em Ciências, Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, IOUSP/SP. e-mail: [mgteesse@usp.br](mailto:mgteesse@usp.br)

<sup>4</sup>D. Sc. em Ciências, Departamento de Oceanografia Física, Química e Geológica, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, IOUSP/SP. e-mail: [mahiques@usp.br](mailto:mahiques@usp.br)

<sup>5</sup>D. Sc. em Ciências, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP. e-mail: [rtsaito@curiango.ipen.br](mailto:rtsaito@curiango.ipen.br)

<sup>6</sup>D. Sc. em Ciências, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN/SP. e-mail: [macunha@ipt.br](mailto:macunha@ipt.br)

### RESUMO

Este trabalho apresenta um levantamento das taxas de sedimentação na região costeira do Estado de São Paulo utilizando o radionuclídeo  $^{137}\text{Cs}$  ( $t_{1/2} = 30,17$  anos) que é produzido artificialmente pela fissão do  $^{235}\text{U}$ . A liberação deste radionuclídeo teve seu máximo nos anos de 1964-65 com os testes e explosões nucleares na atmosfera onde o  $^{137}\text{Cs}$  foi disperso para todo o globo terrestre pelo processo de fallout. A partir dos processos de interação sedimento-água uma parte deste radionuclídeo deposita-se no sedimento, onde sua determinação é possível por espectrometria gama. Os níveis obtidos para o litoral brasileiro são extremamente baixos, comparados aos de outras regiões do mundo sujeitas a efluentes nucleares ou a acidentes como de Chernobyl. No entanto foi possível encontrar no sedimento, a partir de correções quanto à granulometria e porosidade, o ano em que houve o máximo de liberação do  $^{137}\text{Cs}$ , possibilitando o levantamento das taxas de sedimentação para a região. Os valores foram comparados aos obtidos com  $^{210}\text{Pb}$  e não apresentaram diferença significativa em um grau de significância de 5%, mostrando então possibilidade e potencialidade do uso do  $^{137}\text{Cs}$  em estudos de dinâmica marinha e taxas de sedimentação recente.

### ABSTRACT

This work presents a study of the sedimentation rates in the coastal area of the State of São Paulo using the  $^{137}\text{Cs}$  radionuclide ( $t_{1/2} = 30,17$  years) that is produced artificially by the fission of the  $^{235}\text{U}$ . The release of this radionuclide had its maximum in the years of 1964-65 during the tests and nuclear explosions in the atmosphere when the  $^{137}\text{Cs}$  was dispersed for the whole world through fallout. Starting from the processes of interaction sediment-water a part of this radionuclide is deposited in the sediment, where its determination is possible by gamma ray spectrometry. The levels obtained for the Brazilian coast they are extremely low when compared to other areas of the world such as the nuclear plant outflows or Chernobyl. However it was possible to find in the sediment, starting from corrections for grain size and porosity, the year of maximum release of  $^{137}\text{Cs}$ , making possible the determination of sedimentation rates of the area. The values presented good correlation in significant level (5%) when compared to those obtained with the  $^{210}\text{Pb}$  technique atesting the potential of the utilization of the  $^{137}\text{Cs}$  in studies of sedimentation rates and sediment dynamics.

Palavras-Chave:  $^{137}\text{Cs}$ , taxa de sedimentação, traçadores radioativos

### 1 – INTRODUÇÃO

A partir da descoberta da radioatividade em 1896, os elementos radioativos passaram a ter grande importância em diversas áreas do conhecimento científico, possibilitando a utilização desses como traçadores ou “marcadores” de eventos ocorridos no passado. Os primeiros trabalhos nesta área foram de NIER (1938 apud GUNTEN, 1995) e NIER et al. (1941 apud GUNTEN, 1995), com isótopos de Pb em combinação com os provenientes do decaimento do U e Th, que possibilitariam mais tarde que pesquisadores como HOLMES (1946 apud GUNTEN, 1995) e HOUTHERMANS (1946 apud GUNTEN, 1995) estimassem a idade da Terra em aproximadamente 4500 Ma.

Após os testes nucleares, as pesquisas que utilizam isótopos radioativos como traçadores sofreram um incremento, visto que muitos dos radionuclídeos produzidos artificialmente tornaram-se mais abundantes

na atmosfera, incorporando-se a diferentes matrizes auxiliando na compreensão dos ciclos da natureza.

Neste contexto, a Oceanografia vem fazendo uso dos mais diferentes radionuclídeos com o objetivo de estudar os processos oceânicos, destacando-se a datação de seqüências de sedimentos marinhos, possibilitando a compreensão dos processos costeiros, de deposição e alteração dos fundos oceânicos. Desta forma, a utilização de traçadores radioativos naturais ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ), artificiais ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ) ou cosmogênicos ( $^7\text{Be}$ ) vem sendo utilizado por inúmeros pesquisadores (CLIFTON et al., OSAKI et al., FOX et al.).

No Brasil, PATCHINEELAM e SMOAK (1997, 1999) determinaram as taxas de sedimentação em diferentes regiões da costa nordeste e sudeste brasileira. Nos testemunhos coletados foi feita a determinação da taxa de sedimentação utilizando-se Pb-210, Be-7 e Th-234.

Os trabalhos de SAITO et al. (2001a, 2001b) na região de Cananéia utilizaram os radionuclídeos  $^{137}\text{Cs}$  em conjunto com  $^{210}\text{Pb}$  para determinação de taxas de sedimentação.

Assim, este trabalho apresenta o levantamento dos níveis de  $^{137}\text{Cs}$  e as taxas de sedimentação em testemunhos coletados na região da plataforma continental do Estado de São Paulo, estuário Santista e litoral de São Sebastião, áreas estas bastante diferenciadas geomorfologicamente da região de Cananéia, o que possibilitou mostrar a potencialidade do uso deste radionuclídeo em estudos de dinâmica costeira no litoral brasileiro.

## 2-CARACTERÍSTICAS NUCLEARES E QUÍMICAS DO CS-137

O  $^{137}\text{Cs}$  juntamente com o  $^{90}\text{Sr}$  é um dos elementos produzidos em maior quantidade na fissão do  $^{235}\text{U}$ . Este radionuclídeo possui uma meia-vida de 30,17 anos. O  $^{137}\text{Cs}$  decai por emissão beta seguido de uma emissão de raios gama, com energias da ordem de 0,500 MeV e 0,661 MeV respectivamente. Devido à maior facilidade na detecção, a determinação é feita por espectrômetros gama, os quais possuem uma alta resolução, possibilitando a discriminação das energias proveniente dessas emissões.

O *fallout* radioativo, que são os movimentos de ar que ocorrem na atmosfera, é uma das principais vias de contaminação do  $^{137}\text{Cs}$  para todo o globo terrestre, ocasionado principalmente pelos testes nucleares cujo ápice ocorreu no período 1964-1965.

O  $^{137}\text{Cs}$  é um metal alcalino solúvel em água, e é utilizado em alguns estudos de dinâmica oceânica e costeira devido à sua baixa reatividade, quando comparada a outros elementos, como por exemplo, os isótopos do plutônio. O comportamento químico do  $^{137}\text{Cs}$  em solução é típico dos elementos estáveis do Grupo 1 ao qual pertence e pode ser comparado ao do potássio, um homólogo químico. No ambiente marinho o céσιο é parcialmente independente do seu homólogo, embora possuam características químicas similares (UNEP, 1992).

A mobilidade e a biodisponibilidade dos radionuclídeos são influenciadas pelas características físico-químicas do *fallout* e, em particular, com a fração dos radionuclídeos associados ao combustível nuclear (SALBU et al., 1994; TOMÁŠEK et al., 1995). Na água do mar, a remoção do  $^{137}\text{Cs}$  da superfície é dependente dos movimentos oceânicos (advecção e difusão) e da interação com material particulado (YAMADA & NAGAYA, 1998). Apesar de uma pequena quantidade do  $^{137}\text{Cs}$  proveniente do *fallout* ou de rejeitos radioativos estar presente nos sedimentos oceânicos, 90% é encontrado na coluna d'água bem próxima à superfície do sedimento. A incorporação do  $^{137}\text{Cs}$  ocorre nesta interface por troca isotópica, iônica, autogênese e pelo comportamento da biota (OZMIDOV, 1986; CALMET & FERNANDEZ, 1990).

Devido às grandes concentrações de elementos alcalinos e alcalino-terrosos nos oceanos, o céσιο é encontrado principalmente na água do mar. O decréscimo no tempo de residência para os elementos do Grupo 1 nos oceanos é de  $6,8 \cdot 10^6$  anos para o  $\text{K}^+$ ,  $4,5 \cdot 10^6$  anos para  $\text{Rb}^+$  e  $5,6 \cdot 10^5$  anos para  $\text{Cs}^+$ , indicando que há uma preferência maior de remoção deste elemento por material

particulado presente na água do mar (EDGINGTON & NELSON, 1984).

Em áreas costeiras há controvérsias com relação ao comportamento do  $^{137}\text{Cs}$ . Alguns cientistas acreditam que este é imóvel no sedimento, outros que é altamente móvel apresentando um transporte difuso através da água intersticial por troca iônica e pela reatividade das partículas (STANNERS & ASTON, 1982; SHOLKOVISTZ et al., 1983).

## 3 – ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a plataforma continental do Estado de São Paulo entre as latitudes  $24^{\circ}30'S$  (Peruíbe, SP) e  $26^{\circ}00'S$  (proximidades da baía de Paranaguá, PR), e as longitudes  $45^{\circ}00'W$ . A área estende-se desde a isóbata de 50 metros, limite aproximado entre as áreas de predomínio de sedimentos arenosos e pelíticos, até a quebra da plataforma (aproximadamente 200 metros). A Figura 1 apresenta a área de estudo e as regiões onde foram realizadas as testemunhagens.

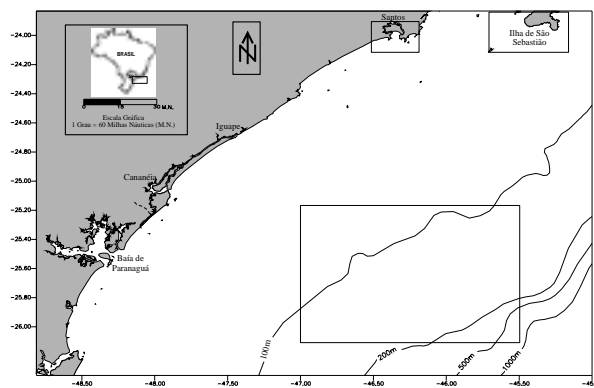


Figura 1: Áreas de coleta das amostras no litoral do Estado de São Paulo.

Dentro da área de estudo foram coletados 9 testemunhos na Plataforma Continental (6651, 6653, 6655, 6683, 6692, 6696, 6700, 6704). Além disso foram obtidos 3 testemunhos na região da Baía de Santos (IB, 6945 e T2) e 1 testemunho na região de São Sebastião (LI).

As testemunhagens na região foram feitas com *box-corer* a bordo do Navio Oceanográfico "Prof. W. Besnard" cujas seqüências foram preservadas através da cravação de 2 (dois) tubos de PVC, sendo imediatamente congelados no freezer de bordo.

## 4 – PARTE EXPERIMENTAL

### 4.1 – Equipamentos

Para determinação do  $^{137}\text{Cs}$  foi utilizado um detector de Ge hiperpuro da E&G ORTEC model 25190P acoplado a um microcomputador e eletrônica associada. Este detector possui resolução de 1,9 keV no pico de 1332 keV do  $^{60}\text{Co}$ .

### 4.2 – Metodologia de análise do $^{137}\text{Cs}$ nos testemunhos

Os testemunhos foram cortados em fatias, nunca superiores a 2 cm de espessura, para liofilização. Foram analisadas as variações da granulometria dos sedimentos ao longo do testemunho (segundo descrito em SUGUIO, 1973).

A análise instrumental da emissão gama para o  $^{137}\text{Cs}$  foi realizada no Laboratório de Espectrometria Gama do IOUSP de acordo com a metodologia estabelecida por FIGUEIRA et al. (1998) e FIGUEIRA (2000).

Amostras contendo entre 10 e 20 g de sedimento, previamente liofilizado, foram colocadas em embalagens apropriadas para contagem gama. Estas amostras foram contadas por um período que foi de 70.000 a 120.000 segundos. Por meio de cálculos e correções apropriadas a atividade do  $^{137}\text{Cs}$  foi determinada pela Equação 1:

$$A_{\text{Cs-137}} = \frac{C_{\text{Cs-137}} - Br}{t \times m \times p_{\gamma} \times \varepsilon_{\text{Cs-137}}} \quad (1)$$

em que,

$A_{\text{Cs-137}}$  é a atividade do  $^{137}\text{Cs}$  na amostra ( $\text{Bq.kg}^{-1}$ );

$C_{\text{Cs-137}}$  é o número de contagens do  $^{137}\text{Cs}$  na amostra;

$Br$  é o número de contagens da radiação de fundo na região do  $^{137}\text{Cs}$  (661 keV);

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

$m$  é a massa da amostra, em quilogramas;

$p_{\gamma}$  é a probabilidade de emissão da radiação gama proveniente do  $^{137}\text{Cs}$  igual a 0,850;

$\varepsilon_{\text{Cs-137}}$  é a eficiência do detetor para o  $^{137}\text{Cs}$ .

## 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os níveis de  $^{137}\text{Cs}$  estão apresentados nos gráficos da Figura 2 e 3.

A profundidade das amostras foi corrigida pela porosidade de acordo com os trabalhos de MATSUMOTO e WONG (1977) e CLIFTON et al. (1995)

A atividade do  $^{137}\text{Cs}$  foi corrigida pelo teor de lama na amostra (silte+argila). Há muito relatada pela bibliografia esta fração tem uma capacidade maior na retenção de metais, pois possui uma maior área específica.

Pode-se observar pelos gráficos da Figuras 2 e 3 que foi possível determinar o nível de  $^{137}\text{Cs}$  referente ao período de maior incremento deste radionuclídeo na atmosfera e posterior deposição pelo processo de *fallout*, conforme descrito na Introdução.

O valor médio de taxa de sedimentação com o  $^{137}\text{Cs}$  para a plataforma continental do Estado de São Paulo (testemunhos 6651 até 6704) foi da ordem de  $(2,63 \pm 0,83) \text{ mm.ano}^{-1}$ , este valor foi comparando ao obtido com  $^{210}\text{Pb}$ , que foi de  $(2,02 \pm 0,57) \text{ mm.ano}^{-1}$  (TESSLER, 2002). Em um nível de significância de 5% os resultados obtidos não apresentaram diferença significativa.

A mesma conclusão pode ser feita quanto ao testemunho da região de São Sebastião (Figura 3), cujo valor de taxa de sedimentação com  $^{210}\text{Pb}$  foi da ordem de  $(1,26 \pm 0,20) \text{ mm.ano}^{-1}$  (ANDRADE, 2002), enquanto que para o  $^{137}\text{Cs}$  foi de  $1,25 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Os gráficos também mostraram a grande mobilidade do  $^{137}\text{Cs}$  ao longo da coluna sedimentar, isto está relacionado a diferentes fatores químicos e físico-químicos já citados anteriormente, decorrentes principalmente da difusão deste elemento na coluna sedimentar e dos processos de troca iônica na água intersticial.

A vantagem da utilização do  $^{137}\text{Cs}$  está na análise deste radionuclídeo, pois  $^{210}\text{Pb}$  utiliza separações radioquímicas, em análises do emissor beta, ou na espectrometria gama, seu pico de maior intensidade localiza-se em uma região de baixa eficiência (abaixo dos 100 keV) onde os efeitos de bremsstrahlung são intensos. Além disso, a energia de emissão gama do  $^{210}\text{Pb}$  é baixa da ordem de 47 keV, necessitando de correções devido aos efeitos de auto-absorção da amostra.

A desvantagem da utilização do  $^{137}\text{Cs}$  está no fato de que os valores de taxa de sedimentação estão relacionados a fatores recentes, aproximadamente dos últimos 50 anos e aos baixos níveis de  $^{137}\text{Cs}$  encontrados em amostras marinhas brasileiras, neste caso há necessidade de um estudo detalhado do background acarretando então uma melhora no limite de detecção dos equipamentos de contagem.

## 6 – CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostraram a potencialidade do uso do  $^{137}\text{Cs}$  em estudos de taxa de sedimentação em áreas cujo nível deste radionuclídeo é extremamente baixo, característica essa das regiões marinhas brasileiras. Os valores obtidos foram concordantes aos da técnica que utiliza o  $^{210}\text{Pb}$ , esta já consagrada em levantamentos de taxa de sedimentação.

Portanto, este trabalho mostra que apesar dos níveis baixos do  $^{137}\text{Cs}$  este elemento pode tornar-se uma poderosa ferramenta para estudos de sedimentação recente e dinâmica marinha, colaborando então para uma melhor compreensão dos processos marinhos na costa brasileira.

## AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do projeto de pesquisa, ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pela concessão de bolsa de Doutorado a Roberto T. Saito, também agradecemos a Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL) pelo auxílio financeiro e concessão da bolsa de iniciação científica a aluna Keila A. Zanini.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, L. T. A. (2002). Análise dos processos hidrodinâmicos e sedimentares da enseada de Fortaleza, Ubatuba/São Paulo. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo.
- CALMET, D.; FERNANDEZ, J.M. (1990). Caesium distribution in northwest Mediterranean seawater, suspended particles and sediments. *Cont.Shelf Res.*, v.10, n.9-11, p.895-913.
- CLIFTON, R. J.; WATSON, P. G.; DAVEY, J. T.; FRICKERS, P. E. A (1995). study of processes affecting the uptake of contaminants by intertidal sediments, using the radioactive tracers: Be-7; Cs-137 and unsupported Pb-210. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, v.41, p.459-74.
- EDGINGTON, D.N.; NELSON, D.M. (1983). The chemical behaviour of long-lived radionuclides in the marine environment. (EUR-9214-en).

- FIGUEIRA, R. C. L.; SILVA, L. R. N.; FIGUEIREDO, A. M. G.; CUNHA, I. I. L. (1998). Instrumental analysis by gamma spectrometry of low level Cs-137 in marine samples. GOIÂNIA, TEN YEARS LATER, Vienna.
- FIGUEIRA, R. (2000). Inventário de radionuclídeos artificiais em água do mar e sedimentos da costa sul do Brasil. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo.
- FOX, W. M.; JOHNSON, M. S.; JONES, S. R.; LEAH, R. T.; COPPLESTONE, D. (1999). The use of sediment cores from stable and developing salt marshes to reconstruct historical contamination profiles in the Mersey Estuary, UK. *Mar. Environ. Res.*, v.47, p.311-29.
- HOLMES, A. (1995). An estimate of the age of the Earth. *Nature*, v.157, p.680-84, 1946. apud GUNTEN, H. R. Radioactivity: a tool to explore the past. *Radiochim. Acta.*, v.70/71, p.305-16.
- HOUTHERMANS, F. G. (1995). Die Isotopen-Haufigkeiten im natürlichen Blei und das Alters des Urans. *Naturwissenschaften*, v.33., p.185-6, 1946 apud GUNTEN, H. R. Radioactivity: a tool to explore the past. *Radiochim. Acta.*, v.70/71, p.305-16.
- MATSUMOTO, E.; WONG, C. S. (1977) Heavy metal sedimentation in Saanich Inlet measured by Pb-210 technique. *J. Geophys. Res.*, v.82, n.34, p.5477-82.
- NIER, A. O. (1941). Variations in the relative abundances of the isotopes of common lead from various sources. *J. Am. Chem. Soc.*, v.60, p.112-16, 1941 apud GUNTEN, H. R. Radioactivity: a tool to explore the past. *Radiochim. Acta.*, v.70/71, p.305-16, 1995.
- NIER, A. O.; THOMPSON, R. W., MURPHY, B. F. (1941). The isotopic composition of lead and the measurement of geologic time. *III Phys. Rev.*, v.60, 112-16, 1941 apud GUNTEN, H. R. Radioactivity: a tool to explore the past. *Radiochim. Acta.*, v.70/71, p.305-16, 1995.
- OSAKI, S.; SUGIHARA, S.; MOMOSHIMA, N.; MAEDA, L. (1997). Biodifusion of Be-7 and Pb-210 in intertidal estuarine sediment. *J. Environ. Radioactivity*, v.37, n.1, p.55-71.
- OZMIDOV, R.V. (1986) Diffusion de contaminants in the ocean. Kluwe Academic Publishers, 283 p., The Netherlands.
- PATCHINEELAM, S. R.; SMOAK, J. M. (1997). Rates of sediment accumulation and particle mixing based on radiochemical measurements from some Brazilian coastal sediments. VII COLACMAR. Resumos Expandidos, vol I : 268-9, 1997
- PATCHINEELAM, S. R.; SMOAK, J. M. (1999). Sediment accumulation rates along the inner eastern Brazilian continental shelf. *Geo-Marine Lett.*, v.19, p.196-201.
- SAITO, R. T. ; FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER, M. G.; CUNHA, I. I. L. (2001a) Pb-210 and Cs-137 geochronologies in the Cananeia-Iguape Estuary (São Paulo, Brazil). *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, v.249, n.1, p.257-61, 2001a.
- SAITO, R. T. ; FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER, M. G.; CUNHA, I. I. L. (2001b) Geochronology of sediments in the Cananeia-Iguape Estuary and in southern continental shelf of São Paulo State, Brazil. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, v.250, n.1, p.109-15.
- SALBU, B.; OUGHTON, D.H., RATNIKOV, A.V.; ZHIGAREVA, T.L.; KRUGLOV, S.V.; PETROV, K.V.; GREBENSHAKIKOVA, N.V.; FIRSAKOVA, S.K.; ASTASHEVA, N.P.; LOSHCHILOV, N.A.; HOVE, K.; STRAND, P. (1994). The mobility of Cs-137 and Sr-90 in agricultural soils in the Ukraine, Belarus, and Russia, 1991. *Health Phys.*, v.67, n.5, p.520-28.
- SHOLKOVITZ, E.R. COCHRAN, J.K.; CAREY, A.E. (1973) Laboratory studies of the diagenesis and mobility of Pu-239+240 and Cs-137 in nearshore sediments. *Geoch. Cosmoch. Acta*, v.47, p.1369-79.
- STANNERS, D.A.; ASTON, S.R. (1982) Factors controlling the interaction of Cs-137 with suspended and deposited sediments in estuarine and coastal environments. (IAEA-SM-248-141)
- SUGUIO, K. (1973). Introdução a Sedimentologia. Ed. Edgard Blucher., São Paulo.
- TESSLER, M. G. (2001). Taxa de sedimentação holocênica na plataforma continental sul do Estado de São Paulo. Tese de Livre-Docência. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo.
- TOMÁŠEK, M.; RYBÁČEK, K.; WILHELMOVÁ, L. (1995). Chemical fraction of radioactive cesium in atmospheric aerosol in Prague after the Chernobyl accident. *J.Radioanal.Nucl.Chem., Letters*, v.201, n.5, p.409-16.
- UNEP/SPC/SPEC/ESCAP. (1984). Radioactivity in the south Pacific. UNEP Regional seas reports and studies n° 40. UNEP.
- YAMADA, M.; NAGAYA, Y. (1998). Temporal variations of Cs-137 concentrations in the surface seawater and marine organisms collected from the Japanese coast during the 1980's. *J.Radioanal.Nucl.Chem.*, v.230, n.1/2, p.111-14

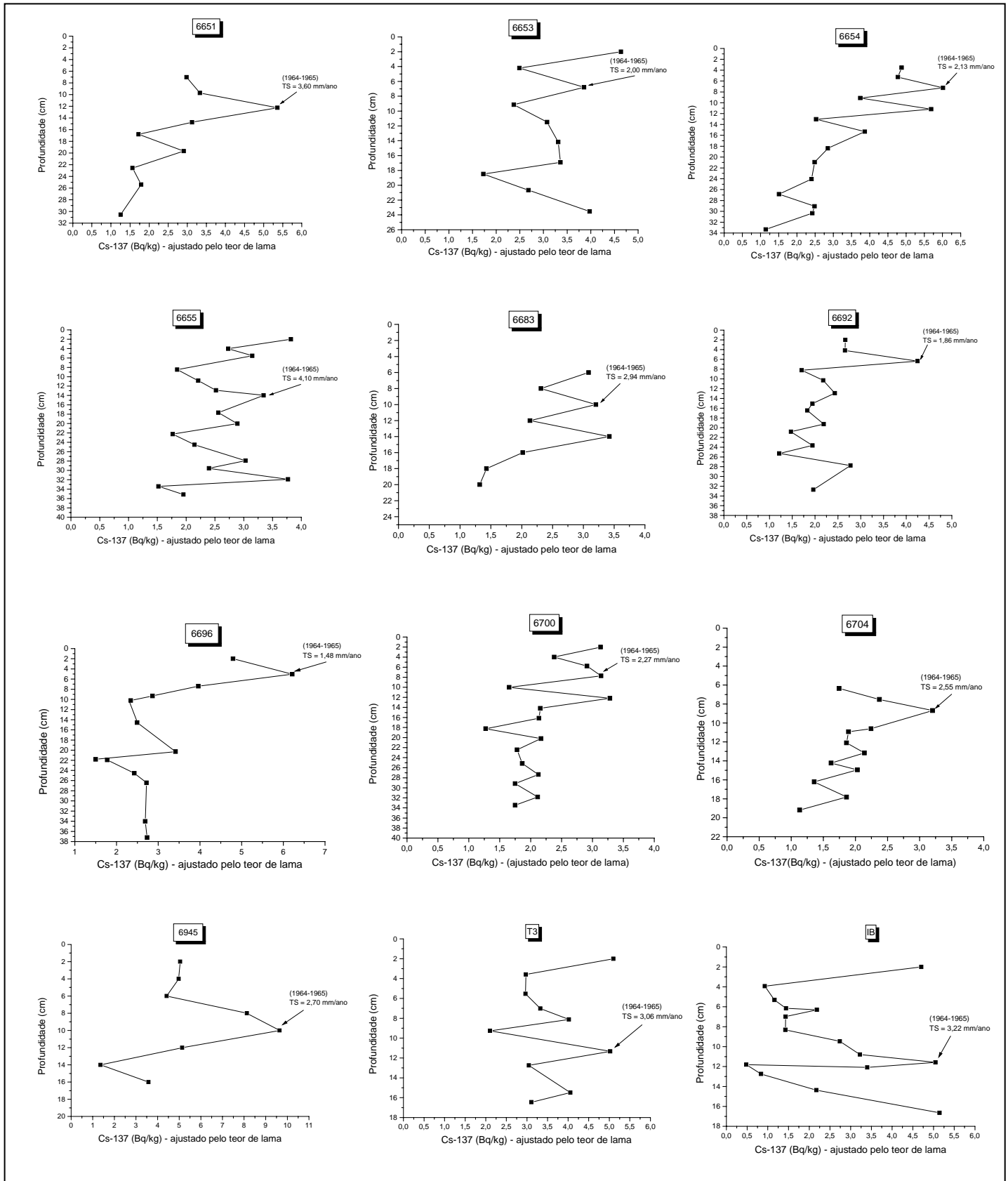


Figura 2: Níveis de <sup>137</sup>Cs em função da profundidade em testemunhos da plataforma continental do Estado de São Paulo e estuário Santista.

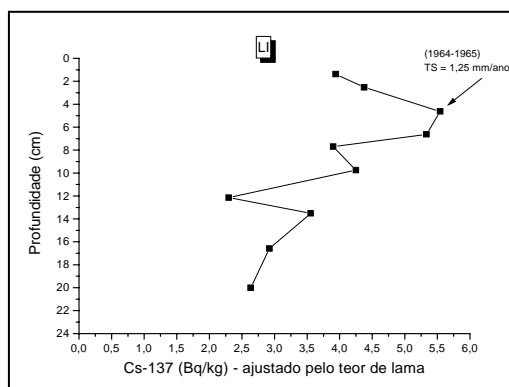


Figura 3: Níveis de  $^{137}\text{Cs}$  em função da profundidade em um testemunho da região de São Sebastião.