

# NÍVEIS DE $^{210}\text{Pb}$ , $^{226}\text{Ra}$ E $^{137}\text{Cs}$ EM SEDIMENTOS DO ESTUÁRIO DE CANANÉIA-IGUAPE, ESTADO SÃO PAULO

Roberto T. Saito<sup>1</sup>, Moyses G. Tessler<sup>2</sup>; Rubens C. L. Figueira<sup>1</sup> e Ieda I. L. Cunha<sup>1</sup>

1 - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN/CNEN-SP  
Caixa Postal 11049 - CEP 05422-970 - Pinheiros - São Paulo - Brasil  
E-mail: biologia@curiango.ipen.br

2 - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo - IO/USP  
Cidade Universitária - São Paulo - Brasil

## RESUMO

Neste trabalho foram realizadas análises de  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{137}\text{Cs}$ , por espectrometria gama, em sedimentos de quatro testemunhos (colunas de sedimentos), coletados ao longo do Estuário de Cananéia-Iguape, litoral sul do Estado de São Paulo. Para a análise destes radionuclídeos em sedimentos foram desenvolvidos métodos de análise não destrutivos utilizando-se um detector de Ge hiperpuro, com baixo nível de radiação de fundo, e estudo do fotopico destes radionuclídeos. Os testemunhos foram segmentados em intervalos regulares e as amostras de sedimentos foram secas, peneiradas, pesadas, colocadas em recipientes plásticos apropriados e detectadas durante 150.000 s. Os níveis de  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{137}\text{Cs}$  nos sedimentos variaram de 122,5 a 13,5 Bq.kg<sup>-1</sup>, 28,0 a 2,38 Bq.kg<sup>-1</sup> e 0,28 a 6,10 Bq.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Os maiores níveis para os radionuclídeos foram encontrados nos testemunhos PA, VG e CR-III e os menores no testemunho PF. Os níveis destes radionuclídeos encontrados nos sedimentos foram concordantes com os resultados obtidos em outras regiões e os valores serão utilizados para estudos de taxa de sedimentação no estuário.

## I. INTRODUÇÃO

A utilização de radionuclídeos para estudos ambientais, como em oceanografia geológica, têm sido destacada ao longo das últimas décadas<sup>[1, 2]</sup>. Estudos de taxa de sedimentação, em diferentes tipos de ambientes aquáticos, utilizam radionuclídeos, como  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{226}\text{Ra}$ <sup>[3, 4]</sup>.

$^{210}\text{Pb}$  ( $t_{1/2} = 22,3$  anos) e  $^{226}\text{Ra}$  ( $t_{1/2} = 1622$  anos) são radionuclídeos naturais disseminados no ambiente em quantidades traços. Embora sejam provenientes da mesma série de decaimento radioativo (do  $^{238}\text{U}$ ), estes nuclídeos geralmente não estão em equilíbrio radioativo no ambiente, pois um radionuclídeo intermediário da série ( $^{222}\text{Rn}$ ,  $t_{1/2} = 3,8$  dias) é um gás, que se move rapidamente da rocha ou solo para o ar ou água. Desta forma,  $^{210}\text{Pb}$  pode ser gerado e depositado distante do local de liberação, como resultado da extrema mobilidade do gás  $^{222}\text{Rn}$ . Esta relação de desequilíbrio  $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$  pode ser utilizada para estudos de taxa de sedimentação.

Mais recentemente,  $^{137}\text{Cs}$  também passou a ser utilizado nestes estudos<sup>[5, 6]</sup>. Uma das limitações para a utilização destes radionuclídeos nestes casos era a obtenção dos dados por meio dos métodos que envolvessem abertura das amostras e separações radioquímicas. Atualmente, com o avanço tecnológico na produção de detectores, a análise destes

radionuclídeos, por emissão gama, tem encontrado aplicação, principalmente no estudo de sedimentos.

O Estuário de Cananéia-Iguape localiza-se no litoral sul de Estado de São Paulo (25° S – 48° W), com uma área aproximada de 200 km<sup>2</sup>. A região apresenta lagoas costeiras e características de estuário, sendo considerado um complexo estuarino-lagunar<sup>[7]</sup>, com a presença de um conjunto de ilhas localizadas próximas ao continente (Cardoso, Cananéia, Comprida e Iguape), separadas entre si por uma série de estreitos canais que se interligam e deságuam no Oceano Atlântico através de três desembocaduras (Arapira, Cananéia e Icapara). O Rio Ribeira de Iguape é o único a apresentar grande influência continental no estuário até bem próximo a foz, desempenhando um papel muito importante nos processos evolutivos da área durante o Quaternário<sup>[8]</sup>.

Os estuários são ecossistemas aquáticos de transição entre os continentes e o mar, extremamente importantes para a vida marinha, pois fornecem abrigo e proteção para a desova e o desenvolvimento das fases iniciais de várias espécies de organismos, como os peixes. Por uma série de características, constituem-se também em ecossistemas extremamente susceptíveis à interferência humana.

Desta forma, este trabalho teve o objetivo de estudar os níveis de  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{137}\text{Cs}$  nos sedimentos do Estuário de Cananéia-Iguape, verificando o impacto

ecológico da poluição no ambiente, além da análise da taxa de sedimentação ao longo da área estudada.

## II. METODOLOGIA<sup>191</sup>

1. Coleta de sedimentos: Os testemunhos foram coletados com tubos de PVC (40 x 8 cm), em quatro pontos do Estuário de Cananéia-Iguape. As amostras obtidas por meio da abertura e segmentação da coluna coletada, foram secas em estufa a 50° C, para determinação do teor de umidade, e em seguida homogeneizadas e acondicionadas em frascos plásticos para posterior análise.

3. Preparo das amostras: As amostras foram secas em estufa a 60° C e acondicionadas em recipientes de plástico, com 7,5 cm de diâmetro e 1,0 cm de altura e cobertos com um filme plástico. Após o preparo, os recipientes foram estocados por cerca de 20 dias para o equilíbrio radioativo entre <sup>226</sup>Ra e <sup>222</sup>Rn.

4. Detecção: Para a determinação de <sup>210</sup>Pb, <sup>226</sup>Ra e <sup>137</sup>Cs, as amostras preparadas foram detectadas em detector de germânio, da EG&G ORTEC, sensível à radiação gama de baixa energia, com baixo nível de radiação de fundo e boa eficiência de contagem para estes radionuclídeos.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nas análises de <sup>210</sup>Pb, <sup>226</sup>Ra e <sup>137</sup>Cs estão expressos nas Tabelas 1 a 5.

Tabela 1 - Níveis de <sup>210</sup>Pb e <sup>226</sup>Ra no testemunho do Valo Grande (VG).

Profundidade (cm)	<sup>210</sup> Pb total (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>226</sup> Ra (Bq.kg <sup>-1</sup> )
0 - 6	66,8 ± 4,7	26,4 ± 2,4
6 - 12	58,6 ± 5,3	22,0 ± 2,5
12 - 19	67,7 ± 7,4	21,1 ± 1,9
19 - 21	s. a	s. a
21 - 27	76,9 ± 6,6	24,7 ± 3,0
27 - 31	62,9 ± 6,3	21,2 ± 1,9
31 - 35	83,7 ± 6,7	26,6 ± 1,6
35 - 39	65,2 ± 6,3	22,8 ± 1,9
39 - 43	72,3 ± 6,4	25,1 ± 2,0
43 - 45	87,9 ± 7,0	28,0 ± 2,2

s. a – sem amostra.

Tabela 2 - Níveis de <sup>210</sup>Pb e <sup>226</sup>Ra no testemunho da Ponta do Arrozal (PA).

Profundidade (cm)	<sup>210</sup> Pb total (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>226</sup> Ra (Bq.kg <sup>-1</sup> )
0 - 2	122,5 ± 11,0	13,7 ± 1,0
2 - 4	67,3 ± 7,4	12,9 ± 1,2
4 - 12	44,5 ± 3,4	8,5 ± 0,8
12 - 18	45,2 ± 5,0	13,1 ± 1,5
18 - 22	37,4 ± 3,4	7,3 ± 0,6
22 - 28	31,7 ± 3,0	5,8 ± 0,5
28 - 34	40,6 ± 3,0	12,0 ± 1,3
34 - 43	24,2 ± 2,4	8,0 ± 0,9

Tabela 3 - Níveis de <sup>210</sup>Pb e <sup>226</sup>Ra no testemunho da Ponta do Frade (PF)

Profundidade (cm)	<sup>210</sup> Pb total (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>226</sup> Ra (Bq.kg <sup>-1</sup> )
0 - 2	35,4 ± 3,5	3,8 ± 0,2
2 - 8	19,3 ± 1,8	5,3 ± 0,6
8 - 10	13,5 ± 1,0	3,3 ± 0,4
10 - 12	28,8 ± 2,8	5,8 ± 0,2
12 - 16	18,3 ± 2,0	3,2 ± 0,3
16 - 18	28,1 ± 2,2	2,3 ± 0,2
18 - 22	21,6 ± 2,2	3,3 ± 0,3
22 - 24	25,3 ± 2,5	4,7 ± 0,5
24 - 32	19,0 ± 1,2	4,6 ± 0,5
32 - 35	14,3 ± 1,5	5,8 ± 0,4

Tabela 4 - Níveis de <sup>210</sup>Pb e <sup>226</sup>Ra no testemunho do Rio Carapara (CR-III).

Profundidade (cm)	<sup>210</sup> Pb total (Bq.kg <sup>-1</sup> )	<sup>226</sup> Ra (Bq.kg <sup>-1</sup> )
0 - 4	72,2 ± 5,8	12,4 ± 1,0
4 - 8	64,9 ± 4,6	13,0 ± 1,1
8 - 10	52,1 ± 4,8	15,2 ± 1,4
10 - 16	36,5 ± 2,9	13,2 ± 1,3
16 - 20	43,9 ± 3,8	14,7 ± 1,3
20 - 24	35,6 ± 3,4	12,0 ± 1,2
24 - 28	31,5 ± 3,2	12,3 ± 1,1
28 - 30	29,7 ± 2,9	14,2 ± 1,3
32 - 34	24,3 ± 2,2	12,5 ± 1,1
34 - 36	21,0 ± 2,5	11,5 ± 1,2
36 - 38	20,0 ± 2,1	13,1 ± 1,2
38 - 44	20,3 ± 1,9	9,0 ± 0,9
44 - 46	17,1 ± 1,1	9,2 ± 0,8
46 - 48	18,5 ± 1,7	9,3 ± 0,9

Tabela 5 - Níveis de  $^{137}\text{Cs}$  nos testemunhos PA, VG, PF e CR-III.

Profundidade e (cm)	(PA) (Bq.kg <sup>-1</sup> )	(VG) (Bq.kg <sup>-1</sup> )	(PF) (Bq.kg <sup>-1</sup> )	(CR-III) (Bq.kg <sup>-1</sup> )
0 - 2	2,59 ± 0,27	2,17 ± 0,23	MDC	1,31 ± 0,21
2 - 4	1,91 ± 0,19	3,25 ± 0,32	0,62 ± 0,05	1,12 ± 0,16
4 - 6	3,13 ± 0,25	2,47 ± 0,25	0,69 ± 0,06	0,88 ± 0,11
6 - 8	2,88 ± 0,35	2,70 ± 0,26	MDC	1,11 ± 0,13
8 - 10	1,24 ± 0,15	2,96 ± 0,28	0,49 ± 0,05	0,81 ± 0,10
10 - 12	1,49 ± 0,16	2,96 ± 0,31	0,44 ± 0,05	0,70 ± 0,09
12 - 14	1,02 ± 0,13	2,78 ± 0,29	0,47 ± 0,04	0,80 ± 0,10
14 - 16	1,22 ± 0,12	3,35 ± 0,32	MDC	1,35 ± 0,15
16 - 18	6,10 ± 0,71	3,10 ± 0,34	0,84 ± 0,07	1,84 ± 0,09
18 - 20	1,29 ± 0,15	s. a.	0,48 ± 0,04	1,82 ± 0,12
20 - 22	1,18 ± 0,15	3,62 ± 0,38	0,37 ± 0,04	1,94 ± 0,14
22 - 24	1,27 ± 0,14	3,73 ± 0,39	MDC	0,76 ± 0,09
24 - 26	0,71 ± 0,09	4,14 ± 0,42	MDC	0,86 ± 0,09
26 - 28	1,75 ± 0,16	3,96 ± 0,37	0,28 ± 0,05	0,52 ± 0,07
28 - 30	1,25 ± 0,10	2,85 ± 0,25	0,62 ± 0,07	0,97 ± 0,08
30 - 32	1,86 ± 0,17	4,31 ± 0,41	1,98 ± 0,10	1,03 ± 0,10
32 - 34	1,51 ± 0,17	3,40 ± 0,23	0,88 ± 0,08	0,69 ± 0,07
34 - 36	0,92 ± 0,12	3,90 ± 0,20		0,46 ± 0,06
36 - 38	1,28 ± 0,13	3,87 ± 0,27		0,66 ± 0,07
38 - 40	0,77 ± 0,09	4,09 ± 0,41		0,82 ± 0,08
40 - 42	1,03 ± 0,13	4,64 ± 0,39		0,94 ± 0,10
42 - 44		5,98 ± 0,35		0,61 ± 0,06
44 - 46				0,67 ± 0,07
46 - 48				0,45 ± 0,05

MDC - Concentração Mínima Detectável; s. a. - sem amostra.

Os níveis de  $^{210}\text{Pb}$  obtidos nos testemunhos coletados no sistema Cananéia-Iguape variaram de 122,5 a 13,5 Bq.kg<sup>-1</sup> (Tab. 1 a 4). Os valores observados nos testemunhos PA, CR-III e PF apresentaram uma queda ao longo da profundidade, ao contrário do testemunho do ponto de coleta VG, que até a profundidade de sedimento coletada, mostrou uma tendência de aumento do nível de  $^{210}\text{Pb}$  total.

Os níveis de  $^{226}\text{Ra}$  obtidos nos testemunhos variaram de 28,0 a 2,38 Bq.kg<sup>-1</sup> (Tab. 1 a 4). Nos quatro testemunhos os valores obtidos sofreram oscilações, entretanto, não foram observadas tendências significativas de aumento ou queda nas atividades deste radionuclídeo ao longo da profundidade. Os maiores teores para  $^{226}\text{Ra}$  foram encontrados no testemunho VG. O testemunho PF apresentou baixos níveis para este radionuclídeo, o que seria realmente o esperado, uma vez que os testemunhos têm em sua constituição uma alta concentração de areia. O aumento na porcentagem de areia nos sedimentos acarreta um efeito diluidor na adsorção dos metais e dos radionuclídeos pelos sedimentos.

Os níveis de  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{226}\text{Ra}$  encontrados nos sedimentos foram concordantes com os resultados obtidos em outras regiões<sup>[3; 5; 10]</sup>. Em sedimentos de testemunhos do estuário Sabine-Neches, Texas, EUA, foram encontrados níveis de  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{226}\text{Ra}$  variando entre 30 a 87 Bq.kg<sup>-1</sup> e de 25 a 67 Bq.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Em sedimentos da costa da Grã Bretanha foram obtidos valores para  $^{210}\text{Pb}$  entre 1,86 a

33,7 Bq.kg<sup>-1</sup>. Outra observação importante é que os níveis obtidos para  $^{210}\text{Pb}$  neste estudo estão abaixo da radiação de fundo, considerada normal (menos de 400 Bq.kg<sup>-1</sup>)<sup>[11]</sup>.

A Tabela 5 mostra que os níveis de  $^{137}\text{Cs}$  variaram de 0,71 a 6,10 Bq.kg<sup>-1</sup> (PA); de 2,17 a 5,98 Bq.kg<sup>-1</sup> (VG); de 0,28 a 1,98 Bq.kg<sup>-1</sup> (PF); e de 0,39 a 2,11 Bq.kg<sup>-1</sup> (CR-III). Em geral, os valores mais altos foram obtidos no testemunho VG e os mais baixos no PF, mostrando um comportamento similar ao obtido para o  $^{226}\text{Ra}$ . Nos testemunhos PA, PF e CR-III as concentrações de  $^{137}\text{Cs}$  sofreram pequenas oscilações ao longo da profundidade, observando-se picos máximos de deposição do radionuclídeo nas profundidades de 18 cm (PA), 30 cm (PF) e 19 cm (CR-III).

Para o testemunho do ponto de coleta VG observou-se um aumento na concentração  $^{137}\text{Cs}$  com a profundidade, indicando que a profundidade com que o testemunho foi coletado, foi insuficiente para se registrar a deposição máxima do  $^{137}\text{Cs}$ .

Os dados encontrados por outros autores em várias regiões do planeta mostram valores bem variados, dependendo da proximidade de centrais nucleares e da influência do acidente de Chernobyl (Rússia) na região estudada<sup>[11; 12; 13]</sup>. Em sedimentos da plataforma continental do litoral sul do Brasil foram encontrados valores entre 1,0 a 1,8 Bq.kg<sup>-1</sup>. No litoral da Síria foram observados níveis de  $^{137}\text{Cs}$  variando entre 0,75 a 1,39 Bq.kg<sup>-1</sup>. No litoral da Grã Bretanha, entre 0,2 a 130 Bq.kg<sup>-1</sup>. E no Mar Negro, Turquia, um valor de 14 Bq.kg<sup>-1</sup>.

Os níveis observados da Ponta do Frade foram menores que os obtidos na Ponta do Arrozal, que situa-se próximo a Barra de Cananéia, uma das saídas do Sistema, e que sofre influência direta das águas marinhas e continentais dos rios provenientes do Sistema Mandira.

#### IV. CONCLUSÃO

Os níveis de  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{137}\text{Cs}$  encontrados nos sedimentos do Estuário de Cananéia-Iguape foram concordantes com os resultados obtidos em outras regiões do planeta. Indicando a baixa influência humana no local.

Os valores obtidos na análise de sedimentos deste local serão utilizados para determinar a taxa de sedimentação. Esse estudo permite que o histórico de sedimentação desta área seja melhor compreendido. Estudos sobre a taxa de sedimentação são considerados muito importantes para a compreensão da dinâmica que envolve a entrada de elementos, pelas diversas fontes, nos ambientes aquáticos, uma vez que os poluentes estão contidos nos sedimentos. Vale ressaltar a importância destas análises, uma vez que este tipo de estudo nunca foi realizado neste local.

## AGRADECIMENTOS

A FAPESP e ao CNPq pelo apoio financeiro, e ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO/USP) pelas coletas dos sedimentos.

## V. REFERÊNCIAS

- [1] SAITO, R. T.; CUNHA, I. I. L.; TESSLER, M. G. **Uso do traçador radioativo de  $^{210}\text{Pb}$  para determinar taxas de sedimentação**, VII Congresso Latino-americano sobre ciências do mar, Santos, Brasil, v. II, p. 379-380, 1997.
- [2] JOSHI, S. R.; SHUKLA, B. S.; McNEELY, R. **The calculation of lead-210 dates for Mckay lake sediments**, J. Radioanal. Nucl. Chem., v. 125(2), p. 341-349, 1988.
- [3] RAVICHANDRAN, M.; BASKARAN, M.; SANTISCHI, P. H.; BIANCHI, T. S. **Geochronology of sediments in the Sabine-Neches estuary, Texas, U.S.A.**, Chem. Geology, 125, 1995.
- [4] ISHIKAWA, Y.; MURAKAMI, H.; SEKINE, T.; SAITO, T.; YOSHIHARA, K. **Non-destructive determination of low-level  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{226}\text{Ra}$  with an ordinary high-purity Ge-detector**, J. Radioanal. Nucl. Chem., v. 178(2), p. 301-310, 1994.
- [5] KIRCHNER, G.; EHLERS, H. Sediment geochronology in changing coastal environments: potentials and limitations of the  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  methods. **J. Coastal Research**, v. 14(2), p. 483-492, 1998.
- [6] JOSHI, S. R.; FOX, M. E. The  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  profiles in sediment cores from Bay of Quinte, Lake Ontario. **J. Radioanal. Nucl. Chem.**, v. 90(1), p. 207-215, 1985.
- [7] TUNDISI, J. G. Produção primária "standing-stock" e fracionamento do fitoplâncton na região lagunar de Cananéia. São Paulo, 1969. **Tese (Doutorado)** – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo.
- [8] SUGUIO, K.; TESSLER, M. G. Depósitos quaternários da planície costeira de Cananéia-Iguape (SP). In: **37º Congresso Brasileiro de Geologia**. São Paulo, dez./1992. v. 1.
- [9] CUNHA, I. I. L.; FIGUEIRA, R. C. L.; SAITO, R. T. **Application of radiochemical methods in the study of environmental radioactivity in Brazil**, Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry'97, Kumamoto University, Japan, 1997.
- [10] KÖSTER, H. N.; GUEGUENIAT, P.; DUURMA; GALVÃO, J. P. Behaviour of polonium-210 and lead-210 in European marine environments. Application of bioindicators. (**EUR-14927**), p. 347-358, 1993.
- [11] McDONALD, P.; COOK, G. T.; BAXTER, M. S. Natural and artificial radioactivity in coastal regions of UK. In: **International Symposium on Radionuclides in the Study of Marine Processes**, sep/1991, Norwich (United Kingdom), p. 329-339.

[12] FIGUEIRA, R. C.L.; SILVA, L. R. N.; FIGUEIREDO, A. M. G.; CUNHA, I. I. L. Análise instrumental de baixos níveis de cézio-137 em amostras marinhas por espectrometria gama, **Conferência Internacional - "Goiânia - 10 anos depois"**, Goiânia, Brasil, 1997.

[13] OTHMAN, I.; YASSINE, T.; BHAT, I. S. The measurement of some radionuclides in the marine coastal environment of Syria. **Sci. Total Environ.**, n. 153, p. 57-60, 1994.

## VI ABSTRACT

In this work, cores (sediment columns) of four locations from the Cananeia-Iguape estuary, located in the south coast of Sao Paulo, were analyzed for  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{137}\text{Cs}$ , by gamma spectrometry. A non-destructive method was developed for this analysis, using a hyper pure Ge detector, with low background radiation level, and photopeak analysis of radionuclides. The cores were segmented in regular intervals, and the sediment samples were dried, sieved, weighed, and put in proper plastic containers. The measurements were made for 150,000 s. The  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{137}\text{Cs}$  levels in the sediments varied from 122.5 to 13.5  $\text{Bq.kg}^{-1}$ , 28.0 to 2.38  $\text{Bq.kg}^{-1}$  and 0.28 to 6.10  $\text{Bq.kg}^{-1}$ , respectively. The higher radionuclide levels were found for the PA, VG and CR-III cores, and the lowest was found for the PF core. The values obtained in this study agreed with the data from other regions of the world. These results will be used for sedimentation rates studies for the estuary.