

## ESTUDOS DE RADIOATIVIDADE AMBIENTAL DESENVOLVIDOS NO LARELI

Ieda I. L. Cunha(1), Rubens C. L. Figueira(2),  
Edson L. Fabra(2) e Sandra R. M. Marchese(2)  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN (1)  
Coordenadoria para Projetos Especiais - COPESP (2)  
Caixa Postal 11049 - Pinheiros - São Paulo - SP

### RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados obtidos no programa de monitoração implantado pelo LARELI - Laboratório Radioecológico do Litoral, pertencente à COPESP - Coordenadoria para Projetos Especiais, situado no campus universitário da USP. As atividades de pesquisa e os procedimentos radioquímicos aplicados no programa de monitoração são apresentados. Os teores de céσιο-137 obtidos são valores de referência para o nosso país e nos auxiliam a entender o complexo processo de transferência desse radionucléido ao longo de cadeias tróficas.

### INTRODUÇÃO

O ambiente marinho vem sendo estudado do ponto de vista ecológico por ser local de deposição de todo o tipo de rejeito produzido pelo homem em suas atividades industriais.

Entre os poluentes existentes, têm-se os de origem radioativa, produtos da indústria atômica, provenientes de testes nucleares, acidentes com reatores e usinas de reprocessamento de combustível nuclear, que liberam radionucléidos ao meio ambiente.

O crescente uso da energia nuclear para geração de energia elétrica, suscita a necessidade de se realizar programas de monitoração e proteção aos sistemas biológicos.

Dentro deste contexto foi criado o Lareli, que tem um amplo programa de pesquisa voltado para a monitoração ambiental. O Lareli tem como objetivo desenvolver e aplicar métodos de análise de radionucléidos tais como céσιο-137, estrôncio-90, plutônio-239, chumbo-210 e polônio-210 em amostras marinhas (água do mar, peixes, sedimentos, algas, musgos), visando obter os níveis de referência para os radionucléidos em amostras ambientais e analisar a influência desses no ecossistema marinho.

O Lareli já implantou um programa de monitoração para determinar o teor de céσιο-137 em amostras de água do mar e peixes da costa litorânea brasileira. Mensalmente, são coletados água do mar e peixes (de espécies representativas do consumo local) de sete pontos do litoral brasileiro, deste o Rio Grande do Sul até Belém do Pará. Os valores obtidos representam valores de referência para o país e são registrados em cartórios para o acesso da comunidade.

Paralelo a essa atividade de desenvolvimento de métodos radioquímicos e aplicação destes em análises rotineiras, o Lareli também desenvolve estudos relacionados à radioecologia.

O conhecimento da dispersão e concentração de radionucléidos no ambiente marinho é de suma importância para o homem, devido ao grande consumo de alimentos provenientes do mar.

Os radionucléidos podem interagir com os elementos similares, no caso, o céσιο-137 comporta-se como o potássio, concentrando-se nos músculos, e o estrôncio-90 como o cálcio, incorporando-se nos ossos. Devido a essa similaridade química e características nucleares, esses radionucléidos são importantes do ponto de vista de impacto ambiental.

Neste laboratório têm sido utilizados os traçadores radioativos em ensaios biológicos para determinar o fator de transferência de céσιο-137 em diferentes cadeias tróficas, visando determinar os indicadores biológicos e elucidar o complexo processo de transferência de radionucléidos para a biota marinha.

Para os experimentos de laboratório são selecionadas diversas cadeias tróficas, tais como fitoplâncton, zooplâncton e peixe e as espécies são cultivadas e aclimatadas no Lareli.

Para os experimentos "in situ", as espécies são coletadas no

CEBIMAR - Centro de Biologia Marinha da USP em São Sebastião, local que tem toda infraestrutura para a coleta das amostras.

O teor de céσιο-137 nas amostras é determinado pelos métodos já desenvolvidos no Lareli [1,2]. A partir dos dados obtidos, determina-se o fator de concentração e eliminação de céσιο para os diversos componentes da cadeia trófica. Os resultados obtidos neste estudo, estão sendo publicados por Marchese e Cunha[3].

A seguir são descritos os métodos de análise de céσιο-137 [1,2] e estrôncio-90[4,5] desenvolvidos no Lareli e os resultados obtidos no programa de monitoração para céσιο em amostras marinhas.

### PARTE EXPERIMENTAL

#### Análise de Céσιο-137.

**Amostras de Água do Mar.** O céσιο foi preconcentrado em 100 litros de água do mar com o fosfomolibdato de amônio (AMP), sintetizado em nosso laboratório. Após as etapas de preconcentração, filtração e secagem, o precipitado foi transferido para potes plásticos e contado por espectrometria gama em detector de germânio hiper-puro e alta eficiência de contagem (60%, Modelo 60210P da Ortec).

**Amostras de Peixe.** Cerca de 2 quilos da parte muscular do peixe foram secos a 110°C por uma semana e posteriormente, a temperatura foi aumentada a 550°C, até obtenção de cinzas. As cinzas foram transferidas para potes plásticos e contadas em detector de germânio.

Foram analisadas as principais espécies de peixe consumidas pela nossa população, tais como sardinha, pescada, corvina e tainha, cavalinha e serra.

#### Análise de Estrôncio-90.

**Amostras de Água do Mar.** O estrôncio foi preconcentrado em 100 litros de água do mar com carbonato de sódio, na presença do cloreto de amônio para inibir a precipitação do magnésio, separado do cálcio pela precipitação do sulfato, purificado dos elementos terras raras e ítrio com hidróxido férrico. Após a espera do tempo de equilíbrio para o crescimento do ítrio-90, procedeu-se à separação deste do estrôncio. O ítrio foi convertido a oxalato e contado em detector Geiger-Müller com baixa radiação de fundo e alta eficiência de contagem (Modelo 2505GM fabricado em Risoe, Dinamarca).

**Amostras de Peixe.** Após a obtenção das cinzas do peixe, estas foram dissolvidas com ácido nítrico concentrado e gotas de água oxigenada, o estrôncio foi preconcentrado com ácido sulfúrico, convertido a carbonato e o procedimento radioquímico empregado a partir desta etapa é o mesmo descrito para a amostra de água do mar.

## RESULTADOS

**Programa de Monitoração.** A coleta de amostras é feita mensalmente em sete pontos do litoral brasileiro, a saber Rio Grande do Sul, Paranaguá, Itacuruça, Salvador, Recife, Fortaleza e Belém do Pará, sendo coletados 100 litros de água do mar e 4 quilos de peixe (de duas diferentes espécies) em cada local de amostragem. A coleta das amostras é feita pela COPESP - Coordenadoria para Projetos Especiais. As amostras coletadas, aplicou-se os testes radioquímicos desenvolvidos para a análise de Cs-137.

A exatidão dos métodos de análise para césio foi testada com a participação em trabalhos de intercomparação promovidos pela Agência Internacional de Energia Atômica - I.A.E.A. e pelo Instituto de Radiodosimetria - IRD, sendo que os valores obtidos na intercomparação foram totalmente satisfatórios.

Os resultados das análises são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

Os níveis de césio-137 em amostras de água do mar estão na faixa de 0,5 a 2,2 Bq.m<sup>-3</sup> com um erro na análise de 30 a 40%, e em amostras de peixe variam de 0,1 a 0,4 Bq.Kg<sup>-1</sup>, com um erro de 40 a 60%.

As amostras marinhas brasileiras não estão isentas de radioatividade artificial proveniente da queima de combustíveis nucleares e essa contaminação é devido à dispersão dos radionuclídeos existentes no hemisfério norte, pelo fenômeno de fallout. Valores publicados na literatura [5 a 8] mostram que os níveis de césio-137 em água do mar no Pacífico Norte (900Km de Tóquio) variam de 4,4 a 5,1 Bq.m<sup>-3</sup>, no Mar Báltico estão na faixa de 20 a 40 Bq.m<sup>-3</sup>, no Mar do Norte e da Noruega, os valores estão na faixa de 20 a 100 Bq.m<sup>-3</sup>. No norte oeste da Escócia e Norte da Irlanda variam de 100 a 200 Bq.m<sup>-3</sup>.

Em relação à matriz peixe, tem-se uma grande variação nos teores de césio-137, dependendo do local de coleta. Na costa litorânea portuguesa, os valores estão na faixa de 0,3 a 0,6 Bq.Kg<sup>-1</sup>, no Mar do Norte variam de 1,4 a 1,9 Bq.Kg<sup>-1</sup>, no Mar Báltico variam de 10,5 a 14,4 Bq.Kg<sup>-1</sup> e no Mar Irlandês estão em torno de 30 Bq.Kg<sup>-1</sup>.

Em algumas amostras de peixe coletadas no Brasil, os níveis de césio-137 estariam em pouco acima dos valores esperados para o hemisfério Sul.

**Análise de Estrôncio-90.** Foram analisadas amostras de água do mar da região de Santos e peixes provenientes de Belém, Itacuruça, Paranaguá e Recife.

Análises efetuadas na água do mar da região de Santos, mostraram que a concentração de estrôncio-90 é cerca de 1,6 Bq.m<sup>-3</sup>, com um erro de 30 a 40%. Esse valor, como era de se esperar, está abaixo dos valores encontrados nas outras regiões do mundo, como no Japão (3,7 Bq.m<sup>-3</sup>), Pacífico Norte (2,7-3,7 Bq.m<sup>-3</sup>), Atlântico Norte (1,7-4,8 Bq.m<sup>-3</sup>), Mar Báltico - Dinamarca (17,6 Bq.m<sup>-3</sup>) e Cap de La Hague (29 Bq.m<sup>-3</sup>).

A Tabela 3 Apresenta os teores de estrôncio-90 em ossos de peixe da costa brasileira. Esses teores variam de 2 a 10 m.Bq/g de Ca. Os níveis encontrados em ossos de peixe do mar Báltico (Dinamarca) são 8,3 a 27 m Bq/g Ca e no Japão variam de 2 a 100 m Bq/g de Ca.

A Tabela 3 mostra também os altos rendimentos de recuperação obtidos para o estrôncio e o ítrio, que foram superiores a 85%, evidenciando a eficácia de nosso método de análise.

Os valores de césio-137 e estrôncio-90 obtidos pelo Lareli nas amostras marinhas brasileiras representam valores de referência e qualquer alteração futura nesses valores poderá ser associada a uma contaminação de causa específica.

As preocupações com a segurança nuclear aumentaram muito depois dos acidentes nucleares ocorridos em Three Mile Island e Chernobyl. A Agência Internacional de Energia Atômica que acompanha, fiscaliza e estimula o uso da energia nuclear, vem promovendo a capacitação técnica de laboratórios em todo o mundo. O Lareli vem de encontro a essa conscientização ecológica e a essa necessidade de se ter capacitação técnica regional, oferecendo serviços de análise de radionuclídeos, podendo avaliar o nível desses em diferentes matrizes, analisar os riscos da liberação de material radioativo no ambiente e verificar se a taxa de dose recebida pelo público está abaixo dos limites permissíveis.

Tabela 1 - Níveis de Césio-137 em amostras de água do mar(Bq.m<sup>-3</sup>)

Estado	lat	long	fev-mar/93	abr-mai/93	jun-jul/93	ago-set/93	out-nov/93	dez/93
Rio G. Sul	32°11'S	52°02'W	1,1	1,1	0,6	0,6	0,8	--
Paraná	48°16'W	48°16'W	1,4	1,6	1,4	0,9	0,9	--
Rio de Janeiro	22°57'S	43°55'W	1,3	--	1,4	1,2	1,1	--
Bahia	12°57'S	38°32'W	1,3	1,9	1,7	1,7	1,8	1,8
Pernambuco	08°02'S	34°51'W	1,7	1,6	1,4	1,2	1,7	1,7
Ceará	03°42'S	38°29'W	1,5	1,2	1,6	1,5	1,2	1,3
Pará	00°26'S	47°49'W	0,9	0,8	--	1,4	0,8	1,4

**Tabela 2 - Níveis de Césio-137 em amostras de peixes(Bq.m<sup>-3</sup>)**

Estado	Set-Dez/91			Fev-Mar/93		Abr-Mai/93	
Rio G. Sul	corvina 0,15	cavalinha 0,11	pescada 0,04-0,19	pescada 0,022	tainha 0,028	corvina 0,014	serra 0,11
Paraná	tainha 0,10	sardinha 0,18	pescada 0,11	pescada 0,035	sardinha 0,048	pescada 0,044	sardinha 0,037
Rio de Janeiro	tainha 0,07-0,15	sardinha 0,15	-----	corvina 0,030	sardinha 0,053	sardinha 0,022	tainha 0,023
Pernambuco	cavalinha 0,11-0,22	serra 0,28	guarajuba 0,39	guaiuba 0,68	guarajuba 0,189	guaiuba 0,063	serra 0,22
Pará	corvina 0,21	tainha 0,11-0,16	pratiqueira 0,01	pratiqueira 0,022	-----	corvina 0,076	tainha 0,21

**Tabela 3 - Resultados obtidos nas análises de ossos de peixes das regiões de Belém, Itacuruçá, Paranaguá e Recife**

Peixe	Região	Rec. do Sr (%)	Rec. do Y (%)	Ativ. obtida (mBq/g de Ca)
tainha	Belém	90,1 ± 0,8	96 ± 6	2 ± 1
tainha	Itacuruçá	86,4 ± 0,8	94 ± 5	5 ± 2
pescada	Paranaguá	90,1 ± 0,8	100 ± 6	11 ± 3
serra	Recife	83,1 ± 0,3	86 ± 5	10 ± 2

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro recebido da Coordenadoria para Projetos Especiais e da Agência Internacional de Energia Atômica.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Cunha, I.I.L.; Munita, C.J.S.; Paiva, R.P.; Teixeira, A. Levels of Cesium-137 in Seawater and Fish from the Brazilian Coast. *The Science of the Total Environ.*, 139:34 - 34, 1993.
- [2] Cunha, I.I.L.; Santos, A.J.G.; Marchese, S.R.M.; Montone, R. - Determination of Fallout Radionuclides in Sediment and Biota Samples from Antarctic - II Regional Congress on Nuclear and Radiological Security, Zacatecas, México, 1993.
- [3] Marchese, S.R.M.; Cunha, I.I.L. - Transferência de Césio-137 em Cadeia Trófica Marinha - V Congresso Geral de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, Brasil, 1994.
- [4] Figueira, R.C.L.; Cunha, I.I.L. - Study of Strontium-90 Determination in Fish - 16° Encontro Anual da Sociedade Brasileira de Química, Caxambú, Minas Gerais, Brasil, 1993.
- [5] Figueira, R.C.L.; Cunha, I.I.L. - Strontium-90 Determination in Reference Materials - II National Meeting of Nuclear Applications, Caxambú, Minas Gerais, Brasil, 1993
- [6] Calmet, D. *GESAMP Report and Studies* n° 39, IAEA, Vienna, 1989.
- [7] Whitehead, N. E. *Inventories of Selected Radionuclides in the Oceans*. IAEA-TEC-DOC 481, IAEA, Vienna, 1988.
- [8] Bettencourt, A.D.; Ferrador, G.C.; Elias, M.D. *Plutonium-239+240, Americium-241, Cesium-137 in Fish and Waters of the Portuguese Coast*. LNET/DP SR-A n° 3, Sacavem, Portugal, 1991.

#### ABSTRACT

This paper presents the results of the continuous environmental survey programmes carried out by the Lareli (Coastal Radioecological Laboratory). The research activities as well as the radiochemical methods applied in the monitoring programme are presented. Data are used to describe the radioecological situation of the Brazilian marine samples and to understand the complex process of cesium-137 transfer along the trophic chains.