



**DESENVOLVIMENTO DE UM MONITOR DE RADIOCONTAMINAÇÃO DA ÁGUA
UTILIZANDO DETECTOR PLÁSTICO CINTILADOR**

Carlos Henrique de Mesquita
Tufic Madi Filho
Margarida Mizue Hamada

Departamento de Proteção Radiológica
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Comissão de Energia Nuclear - São Paulo

SUMÁRIO

Desenvolveu-se um monitor para radiação alfa, beta e gama utilizando o detector plástico cintilador. O nível de sensibilidade do detector é de 15 Bq.L^{-1} e a eficiência de contagem é de 25% para o ^{131}I . Propôs-se sua utilização no programa de monitoração da radiação da piscina do reator de pesquisa, de São Paulo, IEA-R1. Um esquema simplificado deste monitor e algumas das suas propriedades são apresentadas.

ABSTRACT

An alpha, beta and gamma radiation water monitor was developed using a plastic scintillator detector with a sensitivity level of 15 Bq.L^{-1} and a counting efficiency of 25% for ^{131}I . It was proposed to be used in the radiation monitoring program of the research reactor swimming-pool of São Paulo. A simplified design and some properties of this monitor are presented.

INTRODUÇÃO

Na água da piscina de um reator podem ocorrer níveis anormais de radioatividade devido à irradiação das impurezas da água ou do vazamento do núcleo do reator. Detectores sensíveis devem ser instalados na piscina do reator para detectar rapidamente quaisquer dessas anormalidades. Diversos tipos de acidentes podem gerar emissores alfa e beta, com ou sem radiação gama. Um detector ideal deve ser sensível a todas essas radiações.

Plástico cintilador^(1,2,6,7,8) é uma boa opção para ser utilizado como detector de radiação, quando a água é o meio radioisotópico. Por não ser higroscópico, ele pode ser mergulhado na água, sem necessitar de blindagem. Os detectores construídos com plásticos cintiladores podem medir com sensibilidade as radiações alfa, beta e gama de uma fonte de água⁽⁸⁾. De acordo com essas propriedades um detector de multi-radiação (alfa, beta e gama) foi desenvolvido para ser utilizado como um monitor de água. O aparelho foi instalado na piscina de pesquisa IEA-R1 operado a potência de 2 MW, sendo a água continuamente bombeada para o detector.

MATERIAIS E MÉTODOS

O detector plástico cintilador foi produzido no Laboratório de Desenvolvimento de Plásticos Cintiladores do IPEN pela polimerização do monômero de estireno contendo 0,5% de PPO (2,5 - difeniloxazol) e 0,05% de POPOP (1,4 - di-2(5 - feniloxazol), como descrito por Buck e Swank⁽²⁾ com algumas modificações⁽⁴⁾.

O plástico cintilador foi usinado nas dimensões 50,8 mm de diâmetro e 130 mm de altura, acoplado a uma fotomultiplicadora bialcalina (RCA-6342A) e colocado em uma câmara de contagem escura blindada com chumbo de espessura de 40 mm. Os detalhes das configurações geométricas do aparelho são apresentados nas Figuras 1 e 2. O fluxo da água na câmara de contagem foi mantido a 70 mL.s^{-1} , utilizando-se uma bomba de água. A câmara de contagem tem um volume interno $V_{\text{int}} = 0,60 \text{ L}$. O aparelho foi construído de modo a ser facilmente desmontável, tendo em vista as operações de sua descontaminação e lavagem.

A sensibilidade de detecção foi determinada utilizando-se um sistema fechado de água, com volume total conhecido (18 L) e pela adição de pequenas quantidades de solução contendo $3,7 \times 10^4 \text{ Bq}$ de ^{131}I . A contagem da radiação de fundo foi determinada para três tipos de fontes de água. Inicialmente utilizou-se água potável sem nenhuma conexão com o reator, a seguir utilizou-se a água da piscina do reator quando este esteve em operação e finalmente realizou-se o mesmo procedimento, mas com o reator desligado.

A dosimetria da superfície da água foi estimada com dosíme-

tros termoluminescentes (TLD) de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ produzidos no IPEN-CNEN/SP⁽³⁾. Estes dosímetros foram calibrados com uma fonte de ^{60}Co e fixados na parede lateral de uma caixa acrílica, conforme Figura 1. Para cada estado do reator, "ligado" ou "desligado", foram utilizados três dosímetros. Após cada mudança do estado do reator, os dosímetros TL foram removidos para um ambiente de baixa radiação de fundo. Estes estudos foram realizados durante uma semana. A taxa de dose foi estimada com os dosímetros TL, considerando o período total que foram expostos à radiação. A água do reator foi mensurada simultaneamente com os dosímetros TL e o detector plástico cintilador.

O espectro de energia da radiação da piscina do reator foi determinado com o detector plástico cintilador e com o detector semicondutor de germânio de alta pureza (HPGe). Em ambos os casos, utilizou-se um analisador de pulso multicanal da Norland-Ortec modelo 7450, EUA.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta os resultados da sensibilidade do monitor determinada para o ^{131}I . Os pontos foram lançados em escala linear e ajustados por regressão utilizando a seguinte equação:

$$\text{Resposta}_{\text{Det. Plást.}} (\text{cpm}) = a_0 + a_1 [^{131}\text{I}] (\text{Bq.L}^{-1}) \quad (1)$$

onde a resposta do detector é expressa pelo número de contagens por minuto (cpm), a_0 e a_1 são os parâmetros da regressão linear mostrados na Figura 3 e $[^{131}\text{I}]$ representa a radioconcentração do iodo na amostra.

O limiar de contagem (LC) utilizando o critério simplificado para a rejeição dos dados anormais foi definida pela expressão⁽¹¹⁾ (2):

$$\text{LC (cpm)} = \text{BG} + 3 \sqrt{\text{BG}} \quad (2)$$

onde BG é a contagem da radiação de fundo das medidas experimentais.

A sensibilidade de detecção foi estimada pela equação:

$$S (\text{Bq.L}^{-1}) = \frac{3 \sqrt{\text{BG}}}{a_1} \quad (3)$$

O valor da radiação de fundo obtido para as condições ambientais, utilizando água potável, foi ao redor de 1890 contagens por minuto (cpm). De acordo com a equação (2) o limiar de contagem (LC) é de 2020 cpm (equivalente a $1890 + 3\sqrt{1890}$). Utilizando-se a equação (3) e o valor de a_1 mostrado na Figura 3, calculou-se a sensibilidade de detecção, sendo igual a 15 Bq.L^{-1} .

(ou $0,4 \text{ nCi.L}^{-1}$). A Figura 3 mostra a interpretação gráfica dos parâmetros de sensibilidade (S) e do limiar de contagem (LC). Esta sensibilidade é similar aos resultados obtidos por Bressani e col.⁽¹⁾. O nível de radioatividade da piscina do reator é mais alto do que nas condições ambientais. Além disso, o reator de pesquisa IEA-R1 permanece ligado nove horas e desligado quinze horas por dia. Devido a diversos efeitos o nível de radioatividade da água não é o mesmo nestes dois períodos. Portanto, devem ser estabelecidos novos limites para cada uma das condições citadas, isto é, com o reator ligado e desligado.

A Tabela 1 mostra o nível de radioatividade para cada fonte de água. Adotando a mesma conduta, como explicado para água potável, os valores de sensibilidade (S) e limiar de contagem (LC) foram determinados para cada nova fonte de água, como apresentada na Tabela 1.

Tabela 1

Níveis de radiação de fundo ("background") de três amostras com seus limiares de contagem (LC) e sensibilidade de detecção

Tipo de Amostra (água)	Rad. de Fundo (cpm)	Limiar Contagem (cpm)	Sensibilidade	
			(Bq.L ⁻¹)	(nCi.L ⁻¹)
Potável	1.890	2.020	15	0,4
Piscina com reator 'desl'	44.655	45.289	71	1,9
Piscina com reator 'lig'	162.759	163.969	135	3,6

A eficiência de contagem para o ^{131}I foi estimada pela equação (4).

$$\text{Eficiência de contagem} = \frac{a_1 \text{ (cpm/Bq.L}^{-1}\text{)}}{60 \text{ (dpm/Bq)} V_{\text{int}} \text{ (L)}} \quad (4)$$

onde: a_1 é o coeficiente angular da reta da Figura 3.
 V_{int} é o volume livre interno da câmara de contagem o qual tem aproximadamente 0,6 L e
 60 (dpm/Bq) é o fator de conversão da radioatividade expressa em desintegrações por minuto (dpm) para Bequerel (Bq).

Substituindo $a_1 = 8,69$ e $V_{\text{int}} = 0,6 \text{ L}$ na equação (4), tem-se a eficiência de contagem igual a 25%. Este valor pode ser conside

rado satisfatório quando comparado com a eficiência de outros contadores que foram projetados para amostras de volume grande⁽⁵⁾.

Para simplificação, as medidas da sensibilidade (S) foram limitadas para o isótopo ^{131}I , à semelhança do que foi realizado por Bressani e col.⁽¹⁾. Talvez para outros estudos, uma análise radioisotópica mais complexa deva ser efetuada, utilizando por exemplo pequenas quantidades do próprio combustível do reator. Para o presente propósito acredita-se que o estudo com ^{131}I é satisfatório.

A Figura 4 mostra a correlação entre os resultados dos dosímetros TL e do detector plástico cintilador. Os dosímetros TL foram calibrados com fonte de ^{60}Co e não foram efetuados estudos de dependência energética. Da Figura 4 infere-se que não ocorreu uma relação constante entre a taxa de dose e a taxa de contagem. A diferença da razão de $2,5 \times 10^{-5}$ ($1,1 \text{ mR.h}^{-1}/44655 \text{ cpm}$) quando o reator está desligado, para $2,0 \times 10^{-5}$ ($3,3 \text{ mR.h}^{-1}/162759 \text{ cpm}$) quando está ligado, pode ser justificada pela ocorrência de espectro de energia mais complexo, no qual a resposta dos dosímetros TL é menos eficiente. Consequentemente, a taxa de dose avaliada com dosímetros TL aumenta mais lentamente do que no detector plástico cintilador.

As Figuras 5 e 6 mostram, respectivamente, o espectro de radiação da água da piscina do reator obtido com o detector plástico cintilador e com o detector HPGe. Comparando-se as Figuras 5 e 6 conclui-se que a resolução energética do cintilador orgânico é muito pobre, conforme previsto^(9,10). Entretanto, o plástico cintilador apresenta maior eficiência de contagem e é capaz de detectar também as radiações alfa e beta. Isto sugere que o plástico cintilador é mais adequado para propósitos quantitativos, enquanto outros detectores como o HPGe podem ser utilizados em apoio na espectrometria gama. Detectores similares são utilizados na monitoração de efluentes gasosos em instalações nucleares na República Federal da Alemanha⁽⁹⁾.

CONCLUSÃO

Um sistema detector relativamente simples mostrou ser adequado para a monitoração do nível de radioatividade da água da piscina do reator e o mesmo pode ser utilizado na monitoração de reservatórios de rejeitos radioativos e efluentes líquidos. O nível de sensibilidade é cerca de 15 Bq/L^{-1} , para medidas de 60s. A eficiência de contagem é de aproximadamente 25% para o ^{131}I . O sistema é adequado para estimar a taxa de dose superficial na água utilizando a curva de resposta versus dose determinada pela técnica da termoluminescência.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Dra. Letícia Lucen te Campos pelas sugestões, fornecimento e medida dos dosímetros termoluminescentes e a Dra. Linda V. Ehlin Caldas pelo contínuo estímulo e sugestões.

BIBLIOGRAFIA

1. BRESSANI, T.; FELICIELLO, A.; TENCONE, B.; TRICOMI, V.I. A large volume low-level detector for measuring the gamma radioactivity in water.
IN: IEEE Transactions on Nuclear Science, 34(1):586-90, 1988.
2. BUCK, W.L. & SWANK, R.K. Preparation and performance of efficient plastic scintillators.
IN: Nucleonics, 11:48 -53, 1953.
3. CAMPOS, L.L. & LIMA, M.F. Dosimetric properties of $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ teflon pellets produced at IPEN.
IN: Radiation Protection Dosimetry, 14(4):333-35, 1986.
4. HAMADA, M.M. & MESQUITA, C.H. Preparation and physiochemical parameter characterization of plastic scintillator detectors. São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CNEN/SP (IPEN Pub. 216), 1988.
5. HINE, G.J. Gamma ray sample counting. In: Hine, G.J. ed. Instrumentation in nuclear medicine. New York, N.Y., Academic, v. 1, cap. 12, p. 291-300, 1967.
6. INAGAKI, T. & TAKASHIMA, R. New types of plastic scintillators.
IN: Nuclear Instr. and Meth., 201:511-17, 1982.
7. JOHNSTON, M.S. Construction and calibration of a simple scintillation counter for monitoring radioactive gases in ducts. UKAEA Harwell Lab. (AERE-M-3399), 1984.
8. MICHEL, W.S.; BROWNELL, G.L.; MREALEY JR., J. Designing sensitive plastic.
IN: Nucleonics, 14:96-100, 1956.
9. SCHWIBACH, J.; BRETSHNEIDER, J.; GADOW, A.; HAUBELT, R.; RIEDEL, H.; WINKELMANN, I. Methods and results of surveillance of radionuclides released from nuclear plants. Neuherberg, Institute of Radiation Hygiene. (STH-BERICHT 5/77), 1977.
10. STEINBAUER, E & BENKA, O. Detection of low energy X-rays in coincidence measurements using the organic scintillator NE 102A.
IN: Nuclear Instr. and Meth. 272:834-9, 1988.

11. WANG, C.H. & WILLIS, D.L. Radiotracer methodology in biological science. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall (Prentice-Hall biological science series), p. 192-3, 1965.

FIGURAS

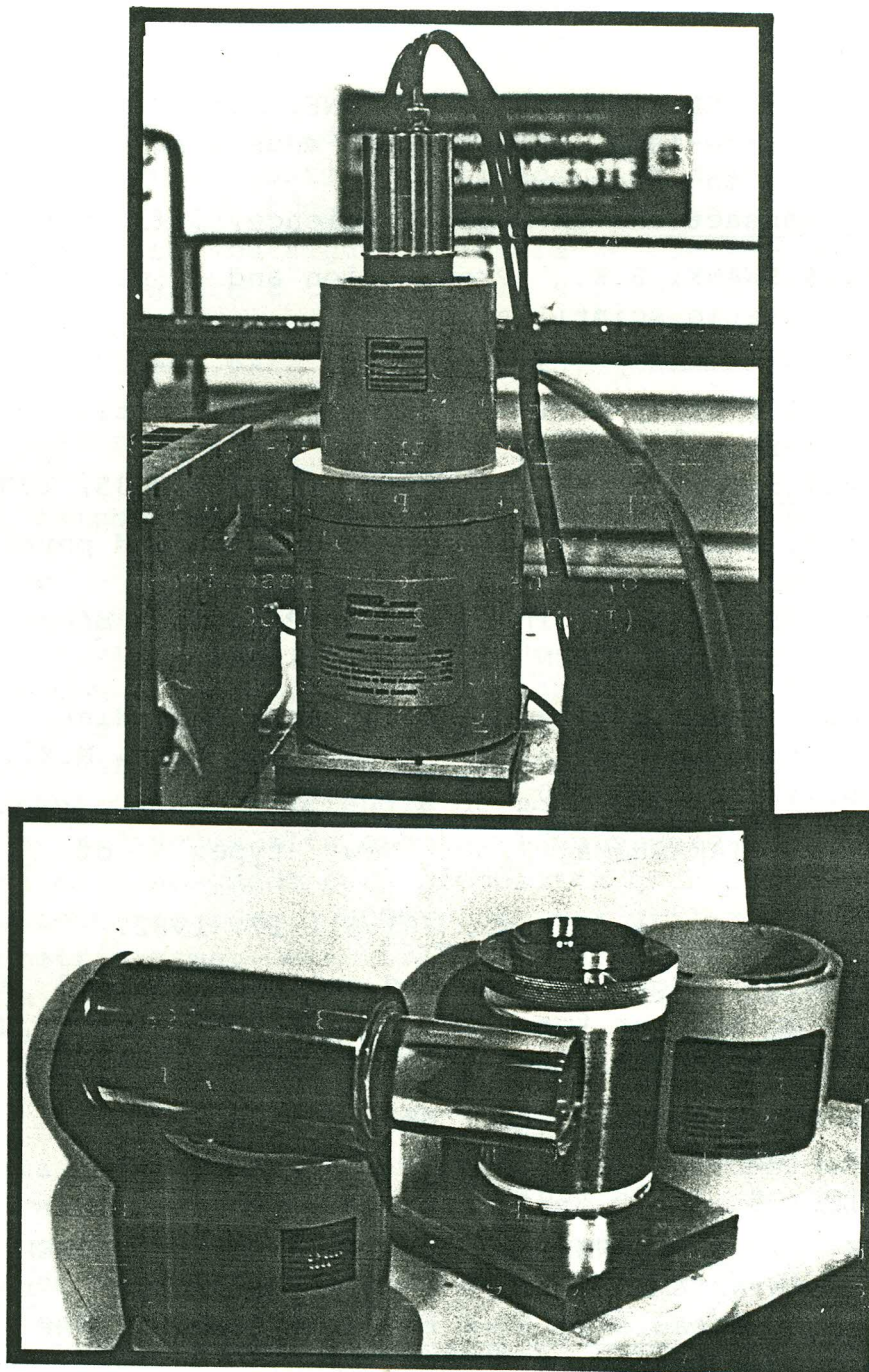


Figura 1: Vista geral do monitor de radiocontaminação da água.

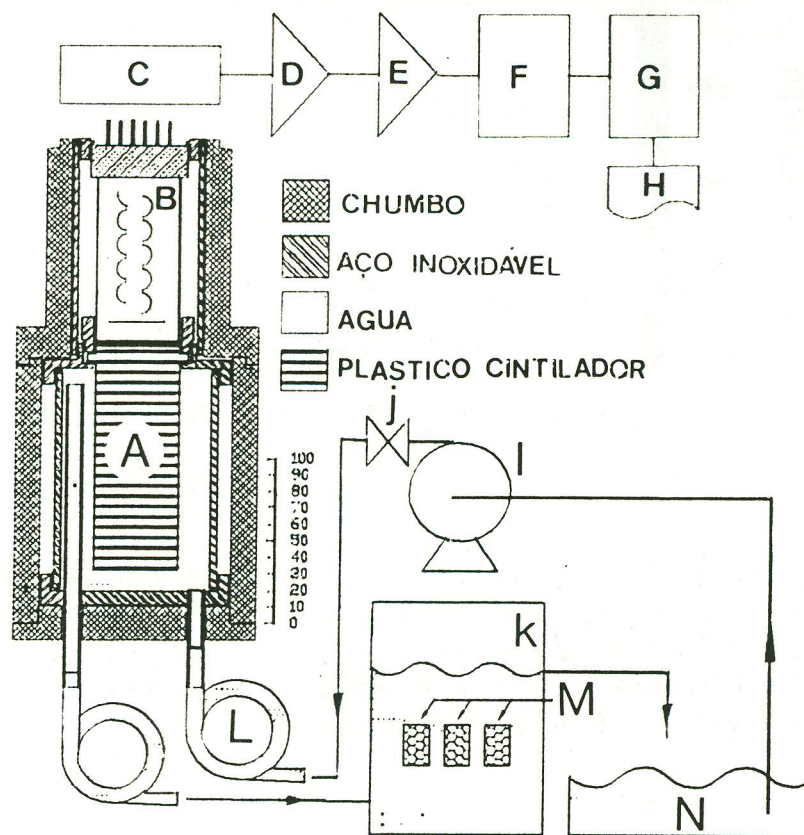


Figura 2 : Configurações geométricas do monitor: (A) plástico cintilador; (B) válvula fotomultiplicadora; (C) malha divisora de tensão; (D) pré-amplificador; (E) amplificador; (F) analisador discriminador; (G) scaler; (H) graficador; (I) bomba de água; (J) válvula; (K) caixa acrílica; (L) protetor de luz de mangueira preta; (M) dosímetros TL; (N) piscina do reator.

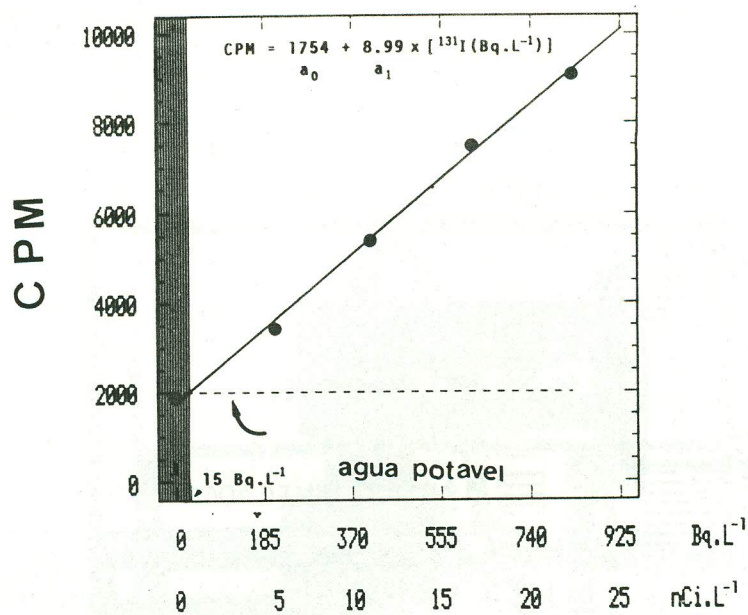


Figura 3 : Interpretação gráfica dos parâmetros de sensibilidade e do limiar de contagem para ^{131}I adicionado em sistema fechado de água. A linha tracejada estima o limiar de contagem (LC) e a área hachurada representa a sensibilidade de detecção.

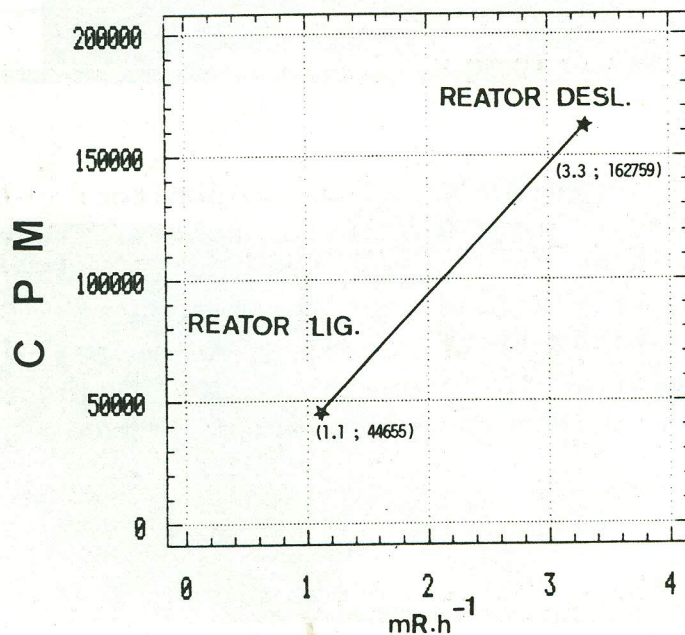


Figura 4 : Correlação entre os resultados dos dosímetros TL e do detector plástico cintilador.

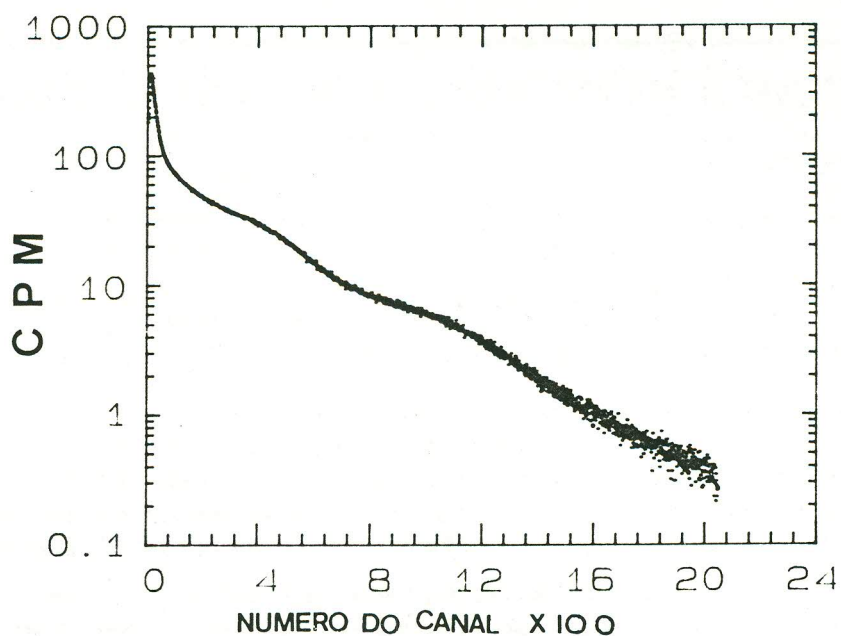


Figura 5 : Espectro da radiação da água da piscina do reator obtido com o detector plástico cintilador.

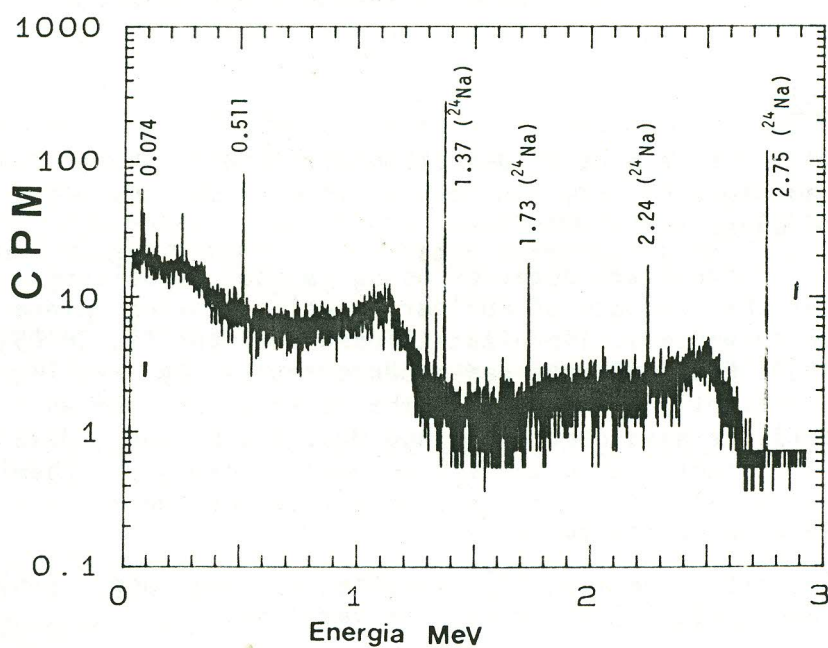


Figura 6 : Espectro da radiação da água da piscina do reator obtido com o detector HPGe.