



# CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR

24 A 29 DE ABRIL DE 1988

ANAIIS - PROCEEDINGS

## MONITORAÇÃO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS RADIOATIVOS GERADOS PELO IPEN - ASPECTOS GERAIS E OTIMIZAÇÃO DOS MÉTODOS DE CONTROLE EXISTENTES.

Célia Regina Seki  
Barbara Pacci Mazzilli

Divisão de Monitoração Ambiental  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Comissão Nacional de Energia Nuclear - SP  
São Paulo

### SUMÁRIO

O alvo principal de uma monitoração interna dos efluentes líquidos gerados em uma instalação nuclear, consiste em garantir a observância das Normas de Proteção Radiológica no que se refere à descarga de material radioativo, como também em manter os custos da descontaminação tão baixos quanto possível. Embora o controle operacional dos efluentes líquidos seja realizado rotineiramente desde o início do funcionamento da instalação, o crescimento dos diversos departamentos, bem como a construção de novos departamentos de pesquisa e desenvolvimento, tornou necessário uma otimização dos métodos de controle já existentes e estabelecidos. Para tanto, desenvolveu-se este trabalho que objetiva dinamizar a rotina da Divisão de Monitoração Ambiental do IPEN, procurando otimizar os tempos de contagem dos diversos radionuclídeos gerados como efluente líquido nas suas instalações. Dados são apresentados para o  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{123\text{m}}\text{Te}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{131}\text{I}$  e  $^{137}\text{Cs}$ .

### ABSTRACT

The main objective of the liquid effluents monitoring at the IPEN's facilities is to guarantee that the amount of radioactivity released into the environment is in accordance with the Basic Standards of Radiation Protection. Although the control of the liquid effluents has been done in a routine basis since the beginning of the operation of all the radioactive installations available, the expansion of several departments, as well as the construction of new units of research and production, asks for optimized control methods of release. It was therefore, developed a study looking for a more dynamic time sharing utilization of the radiation detection system at the Division of Environmental Monitoring of IPEN. The main task of this study is to optimize the counting time of the radionuclides generated as liquid effluents at the IPEN's facilities. Data are presented for  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{123\text{m}}\text{Te}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{131}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$ .

## INTRODUÇÃO

Durante a operação de uma instalação nuclear, é inevitável a produção de efluentes líquidos contaminados com radioatividade.

A determinação dessa radioatividade é de interesse quer do operador de tal instalação, quer do público em geral, pois estes efluentes são despejados diretamente no sistema de águas públicas.

Para se determinar os limites para descargas de efluentes líquidos radioativos para o ambiente, há a necessidade de um conhecimento pormenorizado da instalação, da sua área de influência, do Termo-Fonte, da distribuição da população e de outros parâmetros ambientais característicos da região.

Embora o controle operacional dos efluentes líquidos radioativos gerados pelo IPEN seja realizado rotineiramente desde o início do funcionamento da instalação, o crescimento dos diversos departamentos, bem como a construção de novos departamentos de pesquisa e desenvolvimento, tornou necessário uma otimização dos métodos de controle já existentes e estabelecidos. Para tanto, desenvolveu-se este trabalho que objetiva dinamizar a rotina da Divisão de Monitoração Ambiental do IPEN, procurando otimizar os tempos de contagem dos diversos radionuclídeos gerados como efluente líquido em suas instalações.

Os radionuclídeos selecionados para o presente estudo são aqueles que apresentaram maior porcentagem de atividade liberada, bem como maior frequência de aparecimento no período de 1984 a 1987, a saber: Sódio-24, Cobalto-60, Antimônio-124, Iodo-131 e Césio-137 provenientes principalmente do Departamento de Reatores e Circuitos Experimentais; Crômio-51, Telúrio-123m e Iodo-131 provenientes principalmente do Departamento de Processamento de Radioisótopos.

Os tempos otimizados de contagem são dependentes de dois parâmetros fundamentais, a Taxa de Contagem Máxima ( $N_{m\acute{a}x}$ ) em cps/l, calculada a partir do Limite Diário de Descarga (LDD) em  $\mu\text{Ci}/\text{dia}$  e o Limite Inferior de Detecção (LID) do sistema de contagem em cps/l.

## DETERMINAÇÃO DA TAXA DE CONTAGEM MÁXIMA, LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO O LIMITE DIÁRIO DE DESCARGA PARA OS RADIONUCLÍDEOS EM ESTUDO

A determinação da Taxa de Contagem Máxima dos radionuclídeos em questão, tem por finalidade determinar um valor de atividade mais restritivo que possa ser liberado ao meio ambiente, com base no Limite Diário de Descarga (LDD) das Normas Básicas de Proteção Radiológica <sup>(2)</sup> para cada radionuclídeo em questão e no sistema de contagem utilizado. As amostras do presente estudo foram contadas num detector de Ge(Li) Coaxial da ORTEC, com resolução de 4,6 KeV para a energia de 1173,2 KeV do Cobalto-60 acoplado a um multicanal de 4096 canais da NORLAND e a um microcomputador para análise dos espectros.

A Taxa de Contagem Máxima é calculada através da seguinte equação:

$$N_{m\acute{a}x} = \frac{N}{V} \quad (1)$$

Onde:

$N_{m\acute{a}x}$  = Taxa de contagem máxima em contagens por segundo por litro.

$N$  = Taxa de contagem em contagens por segundo.

$V$  = Volume total do tanque de retenção em litros.

Os resultados obtidos se encontram na Tabela 1.

## DETERMINAÇÃO DO LIMITE INFERIOR DE DETECÇÃO DO SISTEMA DE CONTAGEM

O Limite Inferior de Detecção do sistema de contagem é o menor valor da atividade de uma amostra que pode ser detectado com um certo nível de confiança

ça estatístico.

Para as amostras líquidas, a equação seguinte é utilizada, considerando-se um nível de confiança igual a 95% (1,3,4,6).

$$LID = 4,66 \frac{\sqrt{h \cdot \bar{N}u}}{T} \quad (2)$$

Onde:

LID = Limite inferior de detecção do sistema de contagem em contagens por segundo por litro.

h = Número de canais que corresponde à largura na meia altura (FWHM) do pico do Cobalto-60 (1173,2 KeV). Para esse caso, utilizou-se um valor para h igual a 4.

$\bar{N}u$  = Número médio de pulsos da radiação de fundo (BG) por canal ou seja,

$$\bar{N}u = \sum_{i=1}^{2,5h} \frac{Ci}{2,5h} \quad (\text{contagens/canal}) \quad (3)$$

Onde:

Ci = Contagem obtida no intervalo 2,5h.

T = Tempo de contagem da amostra que é igual a 1000 segundos.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos.

#### CÁLCULO DO TEMPO OTIMIZADO DE CONTAGEM PARA OS RADIONUCLÍDEOS EM ESTUDO

A equação utilizada para se determinar o tempo de contagem otimizado para os diferentes radionuclídeos em questão, é a seguinte:

$$Tot \geq \frac{C_1^2 C_2}{(Nm_{\max} + C_2)^2} \quad (4)$$

Onde:

Tot = Tempo otimizado de contagem em segundos.

C1 = Valor constante = 4,66.

C2 = Radiação de fundo que corresponde ao termo  $\sqrt{h \cdot \bar{N}u}/T$  da equação 2 em contagens por segundo por litro.

Nm<sub>max</sub> = Taxa de contagem máxima em contagens por segundo por litro.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos.

#### DETERMINAÇÃO DA TAXA DE CONTAGEM LEVANDO-SE EM CONSIDERAÇÃO O LIMITE DE INCORPORAÇÃO ANUAL POR INGESTÃO PARA OS RADIONUCLÍDEOS EM ESTUDO

Quando, através da análise do efluente líquido for verificado que o valor da atividade está acima do valor limitante, a liberação implicará num estudo que visa determinar a taxa de contagem para os radionuclídeos em estudo, levando-se em consideração o Limite de Incorporação Anual por Ingestão (LIAI) (2) e assumindo-se que todo efluente líquido gerado é solúvel no meio ambiente e que o indivíduo do público pode consumir normalmente essa água.

A taxa de contagem (M) é calculada através da seguinte equação.

$$M = I.L.\epsilon \quad (5)$$

Onde:

M = Taxa de contagem em contagens por segundo.

I = Intensidade gama relativa do fotopico (?).

L = Limite de incorporação anual por ingestão em desintegrações por

segundo por litro, levando-se em conta que o homem referência consome aproximadamente 2,0 litros de água (na forma líquida) por dia (5).

- $\epsilon$  = Eficiência calculada através da equação da curva de eficiência do sistema de detecção nas condições normais de uso do aparelho para o presente estudo, em contagens por segundo por desintegrações por segundo.
- equação da reta:  $\ln \epsilon = 2,22 - 1,32 \ln E$  (6)

Onde:

$\epsilon$  = Eficiência

E = Energia gama do fotopico (7).

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos.

## CONCLUSÕES

Da Tabela 3, verifica-se que o tempo otimizado mais alto determinado para as amostras de efluentes líquidos provenientes do Departamento de Reatores e Circuitos Experimentais é de 5 minutos para o Antimônio-124, o que significa que este tempo é o mais seguro para se contar as amostras. Desta forma pode-se identificar o Antimônio-124, bem como os demais radionuclídeos gerados por esta instalação, que serão certamente identificados em tempos menores que o citado acima, conforme mostra a tabela 3.

E ainda da tabela 3, nota-se que para o Departamento de Processamento de Radioisótopos, o tempo otimizado verificado é menor que 1 minuto para o Iodo-131. Verifica-se que este tempo embora extremamente baixo é o suficiente para se detectar com segurança todos os radionuclídeos gerados como efluente líquido por esta instalação.

Do que se citou acima, podemos concluir que estes tempos são os mais restritivos possíveis, pois vale lembrar que estes foram determinados levando-se em consideração o Limite Diário de Descarga e o Limite Inferior de Detecção do Sistema de Contagem para cada radionuclídeo em questão.

Pode-se afirmar portanto, que 5 minutos de contagem para as amostras do Departamento de Reatores e Circuitos Experimentais e 1 minuto de contagem para as amostras do Departamento de Processamento de Radioisótopos são suficientes para o controle de efluentes líquidos; se nestes tempos de contagem não for identificado nenhum radionuclídeo, a amostra pode ser liberada ao meio ambiente. Se, por outro lado, nestes tempos de contagem for identificado algum radionuclídeo, o valor encontrado da contagem pode ser comparado diretamente com os valores da tabela 1.

Com a finalidade de se comparar os dois estudos feitos para possíveis liberações para o meio ambiente dos efluentes líquidos provenientes das instalações do IPEN, definiu-se o Fator de Segurança que indica quantas vezes está se indo a favor da segurança para se poder liberar um determinado efluente líquido para o meio ambiente.

Esse fator é a relação da taxa de contagem (M) levando-se em consideração o Limite de Incorporação Anual por Ingestão (LIAI) em  $\mu\text{Ci}/\text{ano}$  e a taxa de contagem máxima (N) levando-se em consideração o Limite Diário de Descarga (LDD) em  $\mu\text{Ci}/\text{dia}$ .

Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 5.

Conclui-se portanto que, para efeito de liberação de efluente líquido, cujo valor da contagem superou o valor da taxa de contagem máxima ( $N_{\text{máx}}$ ) pode-se utilizar o fator de segurança (M/N) calculado.

O valor obtido, embora menos restritivo do que a taxa de contagem máxima, fornece um resultado ainda em conformidade com as Normas Básicas de Proteção Radiológica.

A Tabela 5 pode portanto, ser utilizada quando nas amostras de efluentes forem identificados radionuclídeos com atividades superiores à taxa de contagem máxima (N<sub>max</sub>).

Tabela 1 - Cálculo da Taxa de Contagem Máxima (N<sub>max</sub>) em cps/l dos Radionuclídeos Liberados como Efluente Líquido, levando-se em consideração o Limite Diário de Descarga (LDD) em  $\mu\text{Ci}/\text{dia}$ .

Radionuclídeo (***)	Unidade de Produção	Limite (2) Diário de Descarga (LDD) ( $\mu\text{Ci}/\text{dia}$ )	Eficiência ( $\epsilon$ ) (cps/dps)	Taxa de Contagem (cps)	Volume Total Máximo (litros)	Taxa de Contagem Máxima (N <sub>max</sub> ) (cps/l)
Na-24	REN (*)	100	$7,0 \times 10^{-4}$	2590	100.000	0,03
Cr-51	TPF e TPC(**)	1000	$4,6 \times 10^{-3}$	16731	8.000	2,09
Co-60	REN	100	$8,0 \times 10^{-4}$	2960	100.000	0,03
Te-123m	TPI (**)	10	$1,2 \times 10^{-2}$	3641	8.000	0,46
Sb-124	REN	10	$2,0 \times 10^{-3}$	724	100.000	0,01
I-131	REN	10	$3,9 \times 10^{-3}$	1172	100.000	0,01
I-131	TPF / TPI	10	$3,9 \times 10^{-3}$	1172	8.000	0,15
Cs-137	REN	100	$1,8 \times 10^{-3}$	5994	100.000	0,06

(\*) REN = Departamento de Reatores e Circuitos Experimentais.

(\*\*) TPF / TPI = Departamento de Processamento de Radioisótopos.  
TPC

(\*\*\*) Esses radionuclídeos são armazenados como efluente líquido em tanque de retenção.

Tabela 2 - Cálculo do Limite Inferior de Detecção (LID) para Tempo de Contagem igual a 1000 segundos.

Radio nuclídeo	Canal Centrôide	Contagem Total no Intervalo de 10 canais ( $\Sigma Ci$ ) (cps)	Número Médio de Pulsos do BG por canal ( $\bar{N}_u$ ) (cont/canal)	Limite Inferior de Detecção (LID) (cps/1)
Na-24	1185	2,0	0,2	0,004
Cr-51	270	20,0	2,0	0,013
Co-60	1031	2,2	0,2	0,004
Te-123m	126	68,1	6,8	0,024
Sb-124	522	5,9	0,6	0,007
I-131	305	13,3	1,3	0,011
Cs-137	575	6,3	0,6	0,007

Tabela 3 - Cálculo do Tempo Otimizado de Contagem.

Radio nuclídeo (***)	Unidade de Produção	Radiação de Fundo ( $C_2$ ) (cps/1)	Taxa de Contagem Máxima ( $N$ ) (cps/1)	Tempo Otimizado de Contagem (Tot) (min.)
Na-24	REN (*)	$9,0 \times 10^{-4}$	0,03	< 1
Cr-51	TPF e TPC(**)	$2,8 \times 10^{-3}$	2,09	< 1
Co-60	REN	$9,0 \times 10^{-4}$	0,03	< 1
Te-123m	TPI (**)	$5,2 \times 10^{-3}$	0,46	< 1
Sb-124	REN	$1,5 \times 10^{-3}$	0,01	5
I-131	REN	$2,3 \times 10^{-3}$	0,01	4
I-131	TPF / TPC / TPI	$2,3 \times 10^{-3}$	0,15	< 1
Cs-137	REN	$1,6 \times 10^{-3}$	0,06	< 1

(\*) REN = Departamento de Reatores e Circuitos Experimentais.

(\*\*) TPF / TPC / TPI = Departamento de Processamento de Radioisótopos.

(\*\*\*) Esses radionuclídeos são armazenados como efluente líquido em tanque de retenção.

Tabela 4 - Determinação da Taxa de Contagem (M) em cps/l dos Radionuclídeos Liberados como Efluente Líquido, levando-se em consideração os Limites de Incorporação Anual por Ingestão (LIAI) em  $\mu\text{Ci}/\text{ano}$ .

Radionuclídeo (***)	Unidade de Produção	Limite de Incorporação Anual por Ingestão (LIAI) ( $\mu\text{Ci}/\text{ano}$ )	Limite de Incorporação Anual por Ingestão (LIAI) (dps/l)	Eficiência ( $\epsilon$ ) (cps/dps)	Taxa de Contagem (M) (cps/l)
Na-24	REN (*)	$1,5 \times 10^2$	7700	$7,0 \times 10^{-4}$	5,4
Cr-51	TPF e TPC(**)	$1,3 \times 10^3$	65860	$4,6 \times 10^{-3}$	29,7
Co-60	REN	$3,9 \times 10$	1850	$8,0 \times 10^{-4}$	1,5
Sb-124	REN	$1,8 \times 10$	740	$2,0 \times 10^{-3}$	1,5
I-131	REN	1,6	81	$3,9 \times 10^{-3}$	0,3
I-131	TPF / TPC	1,6	81	$3,9 \times 10^{-3}$	0,3
Cs-137	REN	$1,2 \times 10$	740	$1,8 \times 10^{-3}$	1,2

(\*) REN = Departamento de Reatores e Circuitos Experimentais.

(\*\*) TPF / TPC = Departamento de Processamento de Radioisótopos.

(\*\*\*) Esses radionuclídeos são armazenados como efluente líquido em tanque de retenção.

Tabela 5 - Cálculo do Fator de Segurança

Radio-nuclídeo	Taxa de Contagem Máxima (N) (cps/1) levando-se em consideração o Limite Diário de Descarga (LDD) em $\mu\text{Ci}/\text{ano}$	Taxa de Contagem (M) (cps/1) levando-se em consideração o Limite de Incorporação Anual por Ingestão (LIAI) em $\mu\text{Ci}/\text{ano}$	Fator de Segurança $\left(\frac{M}{N}\right)$
Na-24	0,03	5,4	180
Cr-51	2,09	29,7	14
Co-60	0,03	1,5	50
Sb-124	0,01	1,5	150
I-131	0,01	0,3	30
I-131	0,15	0,3	2
Cs-137	0,06	1,2	20

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALTSHULER, B. & PASTERNAK, B. Statistical measures of the lower limit of detection of a radioactive counter. Hlth. Phys.; 9:293-8, 1963.
2. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Normas básicas de proteção radiológica. 19 set., 1973. (Resolução CNEN-06/73)
3. CORLEY, J.P.; DENHAM, D.H.; JAQUISH, R.E.; MICHELS, D.E.; OLSEN, A.R.; WAITE, D.A. A guide for environmental radiological surveillance at U.S. Department of Energy installations. Washington, D.C. Department of Energy, July 1981. (DOE-EP-0023).
4. HARLEY, H.J. ed. EML procedures manual. New York, Health and Safety Lab., 1976. p.D-08-01 (HASL-300).
5. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Report of the task group on reference man. Oxford, Pergamon, 1974. (ICRP-23)
6. KERNTECHNISCHER AUSSCHUSS. Measuring liquid radioactive materials for monitoring the radioactive discharge. June, 1978. (KTA-Safety Standard-1504).
7. KOCHER, D.C. Radioactive decay data tables. Washington, D.C. Department of Energy, Technical Information Center, 1981. (DOE-TIC-11026).