

# DETERMINAÇÃO DA TAXA DE DESINTEGRAÇÃO DO Ga-67.

Kátia A. Fonseca, Marina F. Koskinas e Mauro S. Dias

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares CNEN/SP  
Caixa Postal 11049  
05422-970 - São Paulo, Brasil

## Resumo

Atualmente, com a produção de radioisótopos no IPEN-CNEN/SP, utilizados em medicina nuclear, como o Ga-67, surgiu a necessidade da calibração de soluções deste radionuclídeo de modo simples e rápido. O Laboratório de Metrologia de Radionuclídeos (LMR) do IPEN, possui um sistema de câmara de ionização de poço  $4\pi\gamma$ , o mais indicado para este tipo de medida. Para adequar este sistema à medida do Ga-67 é necessária a padronização em um sistema de medida absoluta. Neste trabalho são apresentados: o método de determinação da taxa de desintegração do Ga-67 em sistema de medida absoluta  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  pela técnica de extrapolação linear da eficiência, os resultados obtidos nos sistemas de espectrometria gama com HPGe e na câmara de ionização do tipo 1383A (padrão secundário) utilizados para verificar a confiabilidade do método empregado.

## INTRODUÇÃO

A metrologia de radionuclídeos é o ramo da Física Nuclear, que se ocupa da medida absoluta da atividade de fontes radioativas. Com o desenvolvimento e aprimoramento de máquinas para produção de radioisótopos, o uso de radionuclídeos novos tem crescido muito, não somente nos vários campos de pesquisa, mas também na indústria, em controle ambiental e principalmente na medicina. Juntamente com o aumento do uso destes radionuclídeos, surge a necessidade de padrões, sendo que cada radionuclídeo requer o seu próprio padrão e cada padronização sua técnica específica.

Atualmente, o radioisótopo  $^{67}\text{Ga}$  é processado, embalado e distribuído aos hospitais pelo IPEN. Devido ao fato deste radioisótopo ser utilizado em medicina nuclear para marcação de tumores em tecidos moles, surge a necessidade da calibração de sua solução de modo simples e rápido.

O presente trabalho apresenta o método de padronização do radionuclídeo em questão, em sistema de medida absoluta  $4\pi\beta\text{-}\gamma$ , utilizando-se a técnica de extrapolação linear da eficiência, desenvolvido no Laboratório de Metrologia de Radionuclídeos do IPEN.

A solução de  $^{67}\text{Ga}$  utilizada é a mesma solução de uso em medicina nuclear e foi importada e processada pela Divisão de Produção de Radioisótopos do IPEN,

com uma meia-vida de 3,261 d [1], por captura eletrônica, colocada sob a forma de citrato de Gálio. O  $^{67}\text{Ga}$  decai populando os níveis excitados do  $^{67}\text{Zn}$ , conforme mostra a fig. 1. Uma fração significativa do processo de decaimento, popula o nível de 93 keV com uma meia-vida de  $(9,15 \pm 0,15) \mu\text{s}$  [2] e com coeficiente de conversão interna total ( $\alpha_t$ ) de 0,83 [3].

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

**Determinação a Taxa de Desintegração** Neste trabalho foi utilizado o sistema de coincidência  $4\pi$  (PC)-NaI(Tl) que é constituído de um detector proporcional com geometria  $4\pi$  à gás fluente utilizado para detecção dos raios X e dos elétrons provenientes do processo de captura eletrônica ou da conversão interna, acoplado a dois cristais de NaI(Tl) usados para a detecção da radiação gama emitida simultaneamente. O sistema eletrônico utilizado é o convencional para este tipo de medida

A taxa de desintegração foi obtida pela técnica de variação da eficiência [4] pelo uso de absorvedores externos à fonte. Foram feitas várias medidas discriminando-se o fotopico de absorção total dos raios gama de 185keV que estão em coincidência com os raios -  $X_K$ . A eficiência foi variada de 15% a 46%.

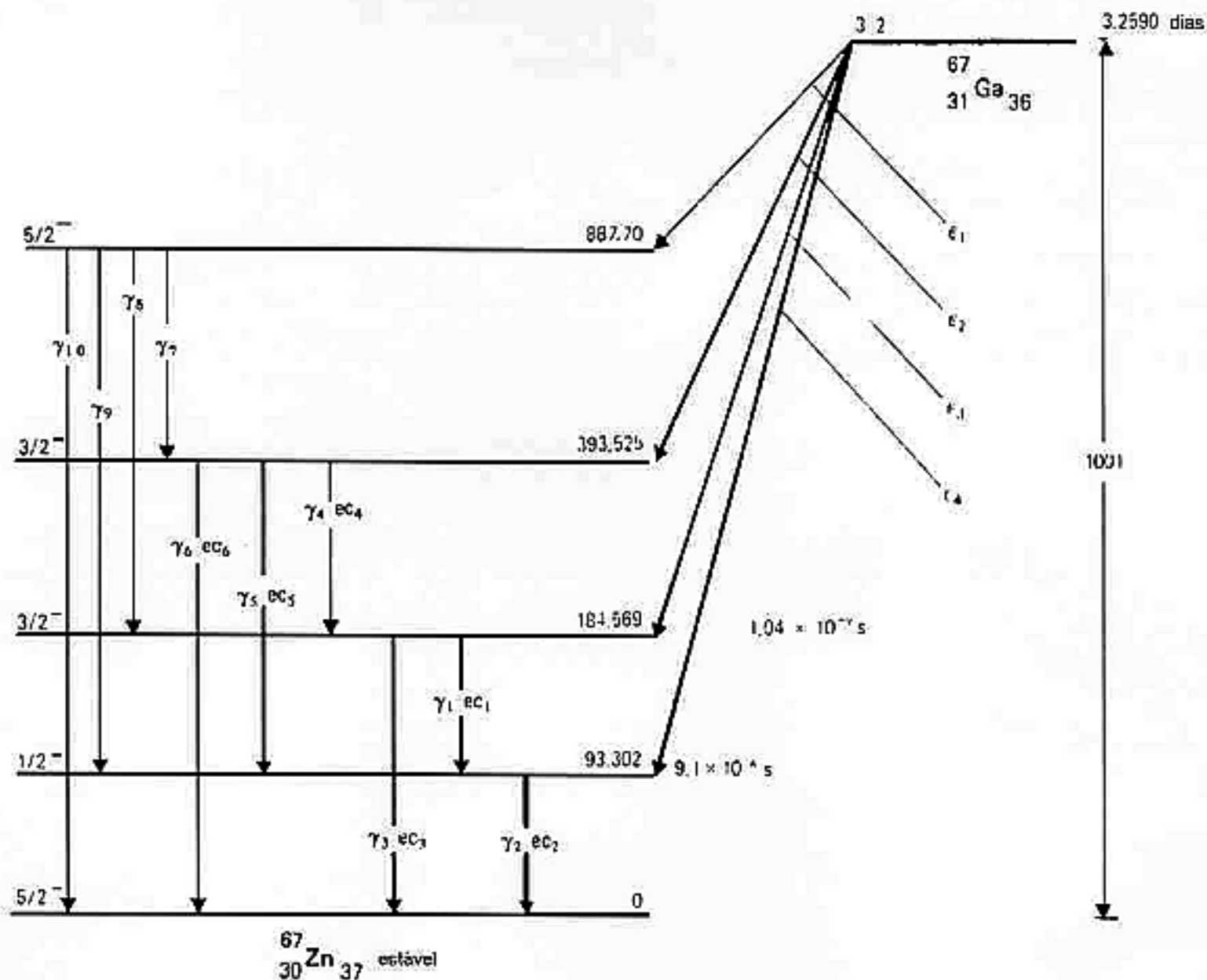


Figura 1. Esquema de decaimento do Ga-67 [3]

A taxa de desintegração é obtida pela equação:

$$\frac{N_{\beta} N_{\gamma}}{N_c} = N_0 \left\{ 1 + \left( \frac{1 - \epsilon_{\beta}}{\epsilon_{\beta}} \right) C + (\epsilon_{cc} a_2 e^{-\lambda \tau}) \right\} \quad (1)$$

onde

$N_{\beta} N_{\gamma}$  e  $N_c$  são as taxas de contagens das vias X, gama e coincidência, corrigidas para radiação de fundo, tempo morto e decaimento.

$N_0$  atividade específica

$\epsilon_{\beta}$  é a eficiência de detecção do detector  $4\pi$ , dada por  $N_c / N_{\gamma}$

$C$  constante referente ao esquema de desintegração.

$\epsilon_{cc}$  eficiência de detecção dos elétrons de conversão

$a_2$  intensidade dos elétrons de conversão do nível atrasado.

$\lambda$  constante de desintegração do nível metaestável de 93 keV.

$e^{-\lambda \tau}$  termo devido ao tempo morto do sistema

O termo  $(\epsilon_{cc} a_2 e^{-\lambda \tau})$  é devido a presença dos elétrons de conversão atrasados e que não podem ser discriminados dos elétrons provenientes dos eventos de captura eletrônica, detectados no detector  $4\pi\beta$ .

**Preparação das Fontes** A amostra de citrato de Gálio é diluída em 1 ml de NaOH ( $5 \times 10^{-3}$  mol) preparando-se uma ampola com 1 ml para medida no espectrômetro HPGe e diversas fontes em substrato de COLLODION (nitrato de celulose), com densidade superficial de 10 a 20  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , metalizados com Au.

A massa da solução radioativa é determinada gravimetricamente pelo método do picnômetro, que consiste na determinação da massa da alíquota pela diferença obtida da pesagem do picnômetro que contém a solução radioativa antes e depois da deposição da alíquota no substrato.

**Medida no Espectrômetro Gama** Este espectrômetro é constituído de um detector de germânio hiperpuro (HPGe). A distância fonte-detector foi de aproximadamente 17,2 cm. Para esta distância o efeito soma em cascata foi estimado como desprezível. As correções para efeito de tempo morto e empilhamento foram aplicadas utilizando-se um pulsador de referência, medido simultaneamente com a fonte gama.

O espectrômetro de HPGe foi devidamente calibrado em eficiência numa faixa de energia de 121 keV a 1408,03 keV, com soluções padrões de  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{152}\text{Eu}$  previamente calibradas no LMR do IPEN.

O cálculo dos parâmetros de ajuste da curva de eficiência, em função da energia foi efetuado com um programa que utiliza o método de ajuste por mínimos quadrados.

Após a calibração, onde se obteve a curva de eficiência, as ampolas contendo a solução de  $^{67}\text{Ga}$  foram medidas no espectrômetro HPGe.

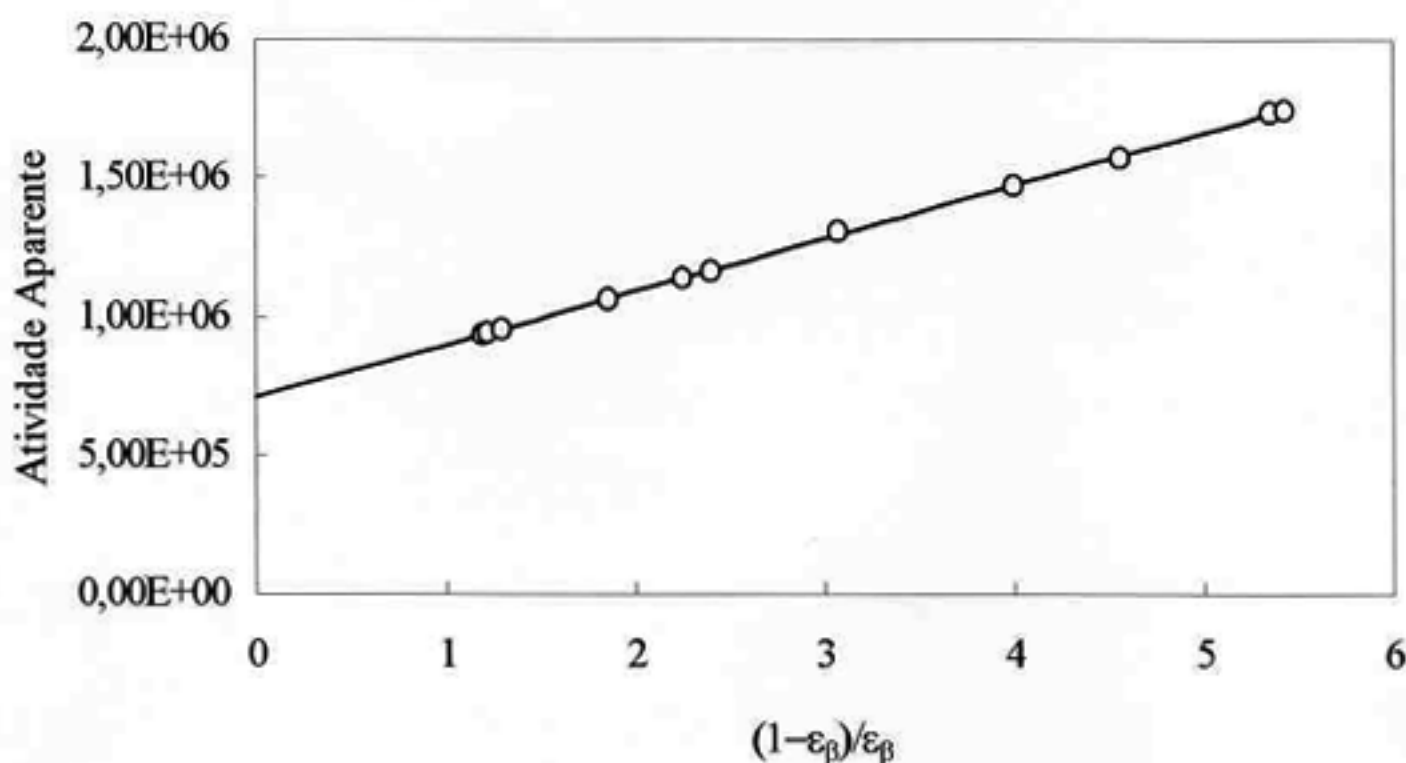


Figura 2. Curva de extrapolação linear da eficiência

## RESULTADOS

A taxa de desintegração do  $^{67}\text{Ga}$  foi obtida por ajuste de mínimos quadrados da curva de taxa de contagens em função de ineficiência  $(1-\epsilon_\beta)/\epsilon_\beta$ . O valor extrapolado corresponde à atividade específica sem a correção referente aos eventos atrasados (denominada neste trabalho como "atividade aparente") Os resultados obtidos para esta curva são apresentados na figura 2.

A taxa de desintegração  $N_0$  foi obtida por meio de medidas no sistema  $4\pi\beta-\gamma$  variando-se o tempo morto do sistema e extrapolando-se para tempo morto infinito.

Foram feitas medidas da solução padronizada no sistema  $4\pi\beta-\gamma$ , e no espectrômetro de HPGe, para comparação dos resultados obtidos, além de medidas na câmara de ionização padrão secundário Modelo 1383A NPL.

Os resultados obtidos nos sistemas  $4\pi\beta-\gamma$  e HPGe apresentaram boa concordância, entretanto as medidas na câmara de ionização mostraram uma discrepância maior que o erro experimental, que será analisada. Na tabela 1 são apresentados os valores obtidos para a atividade nos três sistemas.

Para evitar que a medida da taxa de desintegração seja dependente do valor de  $a_2$  obtido da literatura[3], serão feitas medidas variando-se o tempo morto  $\tau$  do sistema [5]. O valor extrapolado para tempo morto infinito fornece a taxa de desintegração diretamente a partir dos parâmetros obtidos experimentalmente.

Tabela 1 Resultados da atividade da solução de  $^{67}\text{Ga}$

Sistema de medida	Atividade específica (kBq/g)
$4\pi\beta-\gamma$	$102,4 \pm 2,6$
HPGe	$108,9 \pm 2,7$
NPL	$101,0 \pm 5,0$

## REFERÊNCIAS

- [1] BROWNE, FIRESTONE and SHIRLEY eds. Table of Radioactive Isotopes John Wiley & Sons 1986.
- [2] LEWIS, V.E., WOODS, M.J. and GOODIER, J.W. The calibration of 1383A ionization chamber for  $^{67}\text{Ga}$ . *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 23: 279-283, 1972
- [3] LAGOUTINE, COURSOL and LEGRAND Table de Radionucléides CEA 1984
- [4] BAERG, A.P. The efficiency extrapolation method in coincidence counting. *Nuclear Instruments and Methods*, 112: 143-150, 1973.

## ABSTRACT

One of the consequences of the production by IPEN of new radioisotopes used in nuclear medicine, as the case of Ga-67, is the need of new standard sources of the radionuclide obtained in a fast and simple way. The Laboratório de Metrologia de Radionucléidos (LMR) at IPEN has a well-type ionization chamber system, the most suitable for this purpose. In order to calibrate this system it was necessary to standardize Ga-67 solutions by an absolute system. The present work gives details on the Ga-67 desintegration rate determination by an  $4\pi\beta\text{-}\gamma$  coincidence system, gamma spectrometry using an HPGe detector and measurements using a 1383A - type ionization chamber, in order to check the consistency in the adopted methodology.