

INSTITUTO DE ENGENHARIA NUCLEAR  
DEPARTAMENTO DE REATORES  
DIVISÃO DO REATOR ARGONAUTA

INW-mf-7817

MEDIDAS DE ÍNDICE DE ESPECTRO UTILIZANDO CÂMPARAS DE  
FISSÃO MINIATURAS.

## AUTORES:

Maria Inês Silvani Souza  
Rosanne Cefaly de Aranda A. Furieri  
Serebias da Silva Oliveira  
Luiz Osório de Brito Aghina

1980.

## 1 - INTRODUÇÃO

Câmaras de fissão são detetores de neutrons que funcionam como câmaras de ionização tendo como agente ionizador os produtos de fissão.

Esses detetores são empregados para a medida da população de neutrons em um determinado local ou para medida de parâmetros integrais da física de reatores.

O presente trabalho trata da técnica do uso das câmaras de fissão para a medida desses parâmetros integrais.

De uma maneira simples pode-se representar uma câmara de fissão como:

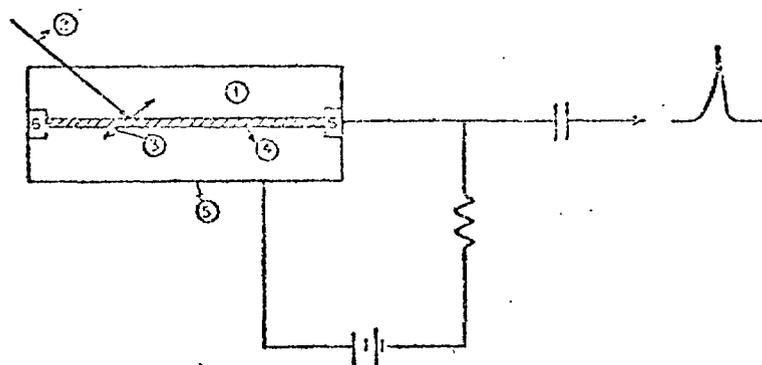


FIG. 1.1

- 1 - GÁS
- 2 - NEUTRON INCIDENTE
- 3 - FRAGMENTOS DE FISSÃO — IONIZAÇÃO — PULSO ELÉTRICO
- 4 - ANODO ONDE ESTÁ DEPOSITADO O MATERIAL FÍSSIL
- 5 - CATODO
- 6 - ISOLANTES

Parâmetros integrais em física de reatores são quantidades que podem ser medidas em um determinado local de um reator tal como uma taxa de reação e que representa o efeito de várias outras grandezas - Parâmetros diferenciais - tal como seção de choque de grupo de energia.

A importância dos parâmetros integrais é que a sua medida pode ser comparada com cálculos teóricos baseado nos pa-

rômetros diferenciais e assim verificar a precisão dessas últimas grandezas.

Para o projeto de reatores rápidos do IEN torna-se importante a medida de parâmetros integrais tais como relação de taxas de fissão ou índice de espectro e com isto verificar a precisão das seções de choque de fissão como também o espectro de neutrons, e aplicar o resultado das medidas no processo da ajustagem de seção de choque de grupo de energia.

Este trabalho descreve o método utilizado para a medida do índice de espectro e toda a sistemática experimental no uso das câmaras de fissão e dos códigos de interpretação de resultados das medidas.

O reator empregado como meio de irradiação de neutrons é o reator Argonauta do Instituto de Engenharia Nuclear e as câmaras de fissão empregadas são do tipo miniatura e de origem francesa.

Não serão apresentados ainda os resultados finais do processo de medida do índice de espectro pois aguarda-se o término da construção de um conversor de neutrons de maior eficiência do que se possui atualmente.

Foram realizadas experiências para testar as câmaras de fissão e levantadas suas características cujos resultados serviram para testar o código ESFI empregado neste método experimental para a interpretação dos resultados das medidas.

2 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE DE ESPECTRO

O índice de espectro para o isótopo  $x$  com respeito ao isótopo  $y$  em um ponto  $R$  dentro de um meio, no qual existe um fluxo de neutrons é dado por:

$$I.E = \frac{\int_{E_1}^{E_n} \sigma_{fH}^x(E) \phi(E,R) dE}{\int_{E_1}^{E_n} \sigma_{fH}^y(E) \phi(E,R) dE}$$

onde:  $\phi(E,R)$  é o fluxo de neutrons em função da energia no ponto  $R$

$\sigma_{fH}^x(E)$  e  $\sigma_{fH}^y(E)$  é a seção de choque diferencial de fissão microscópica para o isótopo  $x$  e  $y$  respectivamente.

O índice de espectro pode também ser interpretado como a razão da seção de choque efetiva de fissão dos dois isótopos, ou seja:

$$I.E = \frac{\hat{\sigma}_f^x}{\hat{\sigma}_f^y} \quad \text{sendo } \hat{\sigma}_f^x = \frac{\int_E \sigma_{fH}^x(E) \phi(E,R) dE}{\int_E \phi(E,R) dE}$$

Usualmente utiliza-se o  $^{235}\text{U}$  como isótopo de referência, isto é, a do denominador.

A razão da sua utilidade e limitações pode ser compreendida estudando-se a dependência da seção de choque com a energia dos seguintes isótopos;  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ .

Para calcular o índice de espectro utiliza-se um isótopo cuja seção de choque de fissão varie fortemente com a energia do neutron e outro isótopo cuja seção de choque poderá ser independente da energia do neutron. Não há isótopo que satisfaça o último requisito, mas o  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{235}\text{Pu}$ , são razoavelmente satisfatórios. Deste ponto de vista o  $^{239}\text{Pu}$  é

o melhor (figura 2.1) mas o  $^{235}\text{U}$  é, e será geralmente utilizado, pelo motivo que as seções de choque de fissão microscópica de determinados materiais são usualmente medidas em relação ao  $^{235}\text{U}$ . Deste modo os efeitos das incertezas nos dados nucleares serão minimizados.

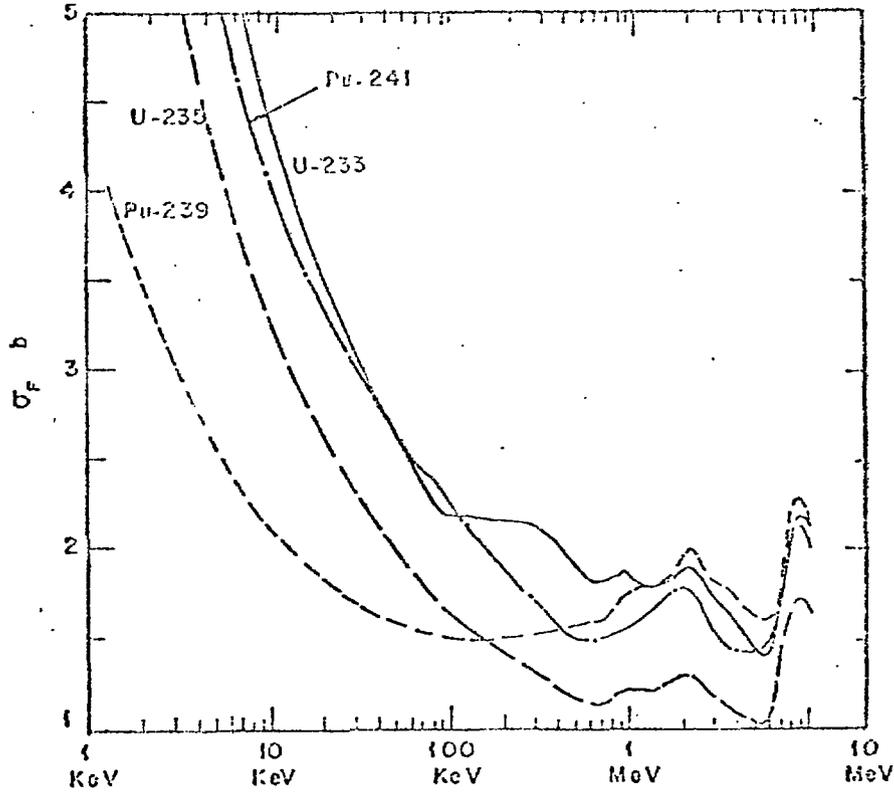


FIG. 2.1. SEÇÕES DE CHOQUE DE FISSÃO DO  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  COMO FUNÇÃO DA ENERGIA DO NEUTRON.

Entre os isótopos cuja seção de choque de fissão varia fortemente com a energia dos neutrons, pode-se citar o  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  e  $^{242}\text{Pu}$ , tendo todos eles um limiar de fissão.

A seção de choque de fissão, em função da energia do neutrão é mostrado na figura 2.2 e 2.3.

As razões  $^{242}\text{Pu}/^{235}\text{U}$ ;  $^{236}\text{U}/^{235}\text{U}$ ;  $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}/^{235}\text{U}$  nos dão bons índices de espectro, com energia limiar de aproximadamente: 0,7 Mev; 1,0 Mev; 1,5 Mev e 1,8 Mev respectivamente.

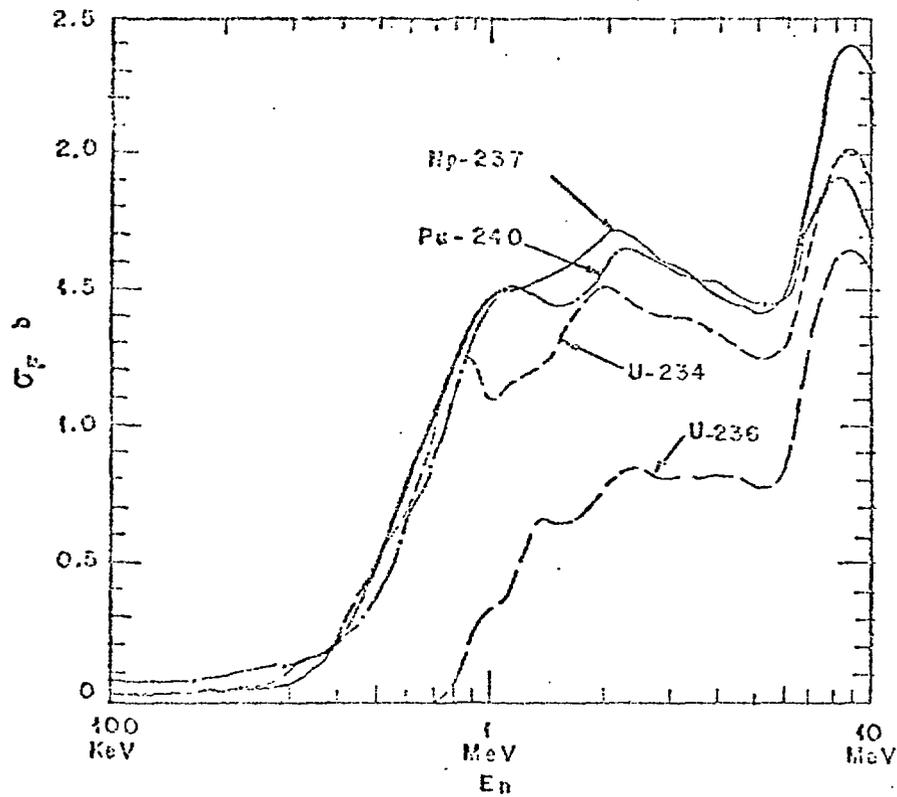


Fig. 2.2 SEÇÃO DE CHOQUE DE FISSÃO DO  $^{234}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$  e  $^{240}\text{Pu}$  COMO FUNÇÃO DA ENERGIA DO NEUTRON.

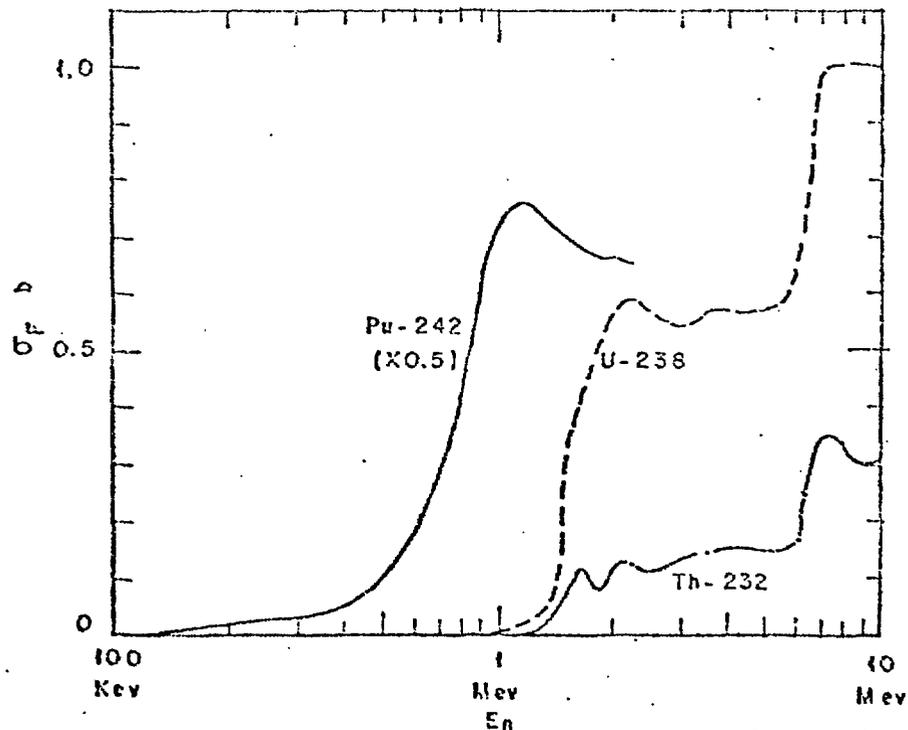


Fig. 2.3 SEÇÃO DE CHOQUE DE FISSÃO DO  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  e  $^{242}\text{Pu}$  COMO FUNÇÃO DA ENERGIA DO NEUTRON.

Para determinar o índice de espectro experimentalmente será irradiado uma pequena quantidade de material físsil e em seguida medida sua atividade.

O presente trabalho tem por objetivo determinar o índice de espectro experimentalmente utilizando como detetores câmaras de fissão miniaturas.

Uma câmara de fissão possui um depósito composto de um material físsil, e quando colocado em um fluxo de neutrons provoca um número de pulsos  $A$ , e esta quantidade pode ser escrita como:

$$A = k \hat{\sigma}_{fR} N \phi_R$$

onde:  $\hat{\sigma}_{fR}$  é a seção de choque efetiva para a fissão do material físsil depositado na câmara que está no espectro de neutrons existentes no lugar de medida  $R$

$N$  é o número de núcleos físséis existentes no depósito

$\phi_R$  é o fluxo total de neutrons existentes no ponto de medida.

$k$  é o coeficiente de proporcionalidade que nos dá o rendimento da câmara.

## 2.2 - Medida de Índice de Espectro

Como já vimos o índice de espectro pode ser dado pela relação  $\hat{\sigma}_f / \hat{\sigma}_f^5$  onde  $\hat{\sigma}_f^5 = \hat{\sigma}_f (^{235}\text{U})$ . Portanto será necessário duas câmaras de depósitos diferentes, cujas massas depositadas devem ser conhecidas.

Geralmente as medidas feitas para se determinar o número de núcleos físséis do depósito são imprecisas, e para eliminar essa imprecisão, é utilizado o seguinte método:

- 1) Expõe-se as duas câmaras de depósitos diferentes em um fluxo de neutrons referência, térmico como exemplo, cuja seção de choque para a fissão do material depositado seja conhecida

para neutrons daquela energia.

O efeito das duas câmaras expostas ao mesmo tempo no mesmo fluxo será:

$$A_{xTh} = k \sigma_{fTh}^x N_x \beta_{Th}$$

$$A_{5Th} = k' \sigma_{fTh}^5 N_5 \beta_{Th}$$

$$\frac{k' N_5}{k N_x} = \left( \frac{A_5}{A_x} \right)_{Th} \left( \frac{\sigma_{fTh}^x}{\sigma_{fTh}^5} \right)_{Th}$$

as quantidades  $A_5$  e  $A_x$  são obtidas experimentalmente e  $\left( \frac{\sigma_{fTh}^x}{\sigma_{fTh}^5} \right)_{Th}$  é facilmente obtida de tabelas.

2) Expõe-se o mesmo par de câmaras por um mesmo tempo em um fluxo de neutrons rápidos no mesmo local anterior; o efeito será

$$A_{xR} = k \hat{\sigma}_{fR}^x N_x \beta_R$$

$$A_{5R} = k' \hat{\sigma}_{fR}^5 N_5 \beta_R$$

resultando:

$$\left( \frac{\hat{\sigma}_{fR}^x}{\hat{\sigma}_{fR}^5} \right)_R = \left( \frac{A_x}{A_5} \right)_R \left( \frac{A_5}{A_x} \right)_{Th} \left( \frac{\sigma_{fTh}^x}{\sigma_{fTh}^5} \right)_{Th}$$

Devido ao pequeno tamanho das câmaras vamos supor que o espectro de neutrons não se modifica com a presença da câmara.

Para câmaras cujo material depositado consiste de somente um isótopo físsil, o cálculo do índice de espectro é bastante simples. Esse cálculo se torna mais complexo quando se utiliza câmaras cujo material depositado contém mais de um isótopo e todos eles físséis a neutrons térmicos ou a neutrons rápidos, que é a situação normal na prática. Para esse cálculo expõe-se o seguinte exemplo:

Cálculo do índice de espectro:  $\frac{\hat{\sigma}_f^{241\text{Pu}}}{\hat{\sigma}_f^{235\text{U}}}$  utilizando uma câmara de  $^{241}\text{Pu}$  e uma de  $^{235}\text{U}$ .

Normalmente um depósito de  $^{241}\text{Pu}$  contém os seguintes isótopos:  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ .

Para calcular o índice de espectro desejado temos duas considerações a fazer:

1) O decaimento do  $^{241}\text{Pu}$  cuja meia vida é relativamente curta comparada com a vida da câmara,  $T_{1/2} \sim 15$  anos.

$$N = N_1 e^{-\lambda t}$$

$N_1$  é o nº de átomos de  $^{241}\text{Pu}$  em uma data referência  $t=0$

$\lambda$  é a constante de desintegração do  $^{241}\text{Pu}$ .

2) A formação do  $^{241}\text{Am}$  a partir do decaimento do  $^{241}\text{Pu}$  que é um emissor  $\beta^-$

$$N'\text{Am} = N_1 (1 - e^{-\lambda t})$$

onde  $N'\text{Am}$  é o número de átomos de  $^{241}\text{Am}$  que está sendo formado pelo decaimento do  $^{241}\text{Pu}$ .

Os outros isótopos são considerados estáveis por possuírem meia vida muito grande comparada com a vida da câmara.

Vamos analisar o efeito em diferentes espectros das duas câmaras expostas com igual tempo no mesmo fluxo.

A) FLUXO TÉRMICO: a razão das atividades  $\frac{A^{241\text{Pu}}}{A^{235\text{U}}}$  obtida nesse

fluxo também é chamada de coeficiente de calibração térmica.

a) câmara de  $^{241}\text{Pu}$

$$A_{\text{Th}}^{241\text{Pu}} = k\beta (N_9 \sigma_{9\text{Th}} + N_1 \sigma_{1\text{Th}})$$

pois a seção de choque para a fissão dos isótopos  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ , e  $^{241}\text{Am}$  é igual a zero para neutrons de energia na faixa térmica.

Lembrando ainda que  $A_{\text{Th}}^{241\text{Pu}}$  é a atividade obtida em uma data de referência, isto é,  $t = 0$  e que após um tempo  $t$  da data de referência

$$A_{1\text{Th}} = A'_{1\text{Th}} \left[ \frac{N_9 \sigma_9 \text{Th} + N_1 \sigma_1 \text{Th}}{N_9 \sigma_9 \text{Th} + N_1 e^{-\lambda t} \sigma_1 \text{Th}} \right]$$

onde:  $A_1 = A^{241\text{Pu}}$

$$\sigma_9 = \sigma_f^{239\text{Pu}}$$

$$\sigma_1 = \sigma_f^{241\text{Pu}}$$

$A'_{1\text{Th}}$  é a atividade produzida pelo mesmo fluxo  $\phi$  em um tempo  $t$  após a data de referência.

Para simplificar comparações posteriores trabalha-se com a atividade com a data de referência.

b) câmara de  $^{235}\text{U}$

$$A_{5\text{Th}} = k' \sigma_5 \text{Th} N_5 \beta_{\text{Th}}$$

onde:  $A_5 = A^{235\text{U}}$

$$\sigma_5 = \sigma_f^{235\text{U}}$$

## B) FLUXO RÁPIDO

a) câmara de  $^{241}\text{Pu}$

$$A_{1R} = k \beta_R \left[ N_9 \hat{\sigma}_{9R} + N_0 \hat{\sigma}_{0R} + N_1 \hat{\sigma}_{1R} + N_2 \hat{\sigma}_{2R} + N_{\text{Am}} \hat{\sigma}_{\text{AmR}} \right]$$

onde:  $\hat{\sigma}_0 = \hat{\sigma}_f^{240\text{Pu}}$

$$\hat{\sigma}_2 = \hat{\sigma}_f^{242\text{Pu}}$$

onde:

$$A_{1R} = A'_{1R} \left[ \frac{N_9 \hat{\sigma}_{9R} + N_0 \hat{\sigma}_{0R} + N_1 \hat{\sigma}_{1R} + N_2 \hat{\sigma}_{2R} + N_{Am} \hat{\sigma}_{AmR}}{N_9 \hat{\sigma}_{9R} + N_0 \hat{\sigma}_{0R} + N_1 e^{-\lambda t} \hat{\sigma}_{1R} + N_2 \hat{\sigma}_{2R} + N_{Am} \hat{\sigma}_{AmR} + N_1 (1 - e^{-\lambda t}) \hat{\sigma}_{1R}} \right]$$

b) câmara de  $^{235}\text{U}$

$$A_{5R} = k' \beta_R N_5 \hat{\sigma}_{5R}$$

trabalhando com as equações acima chega-se que o índice de es-  
pectro desejado é dado por:

$$\left( \frac{\hat{\sigma}_1}{\hat{\sigma}_5} \right)_R = \frac{1}{a_1} \left\{ \frac{(A_1/A_5)_R}{(A_1/A_5)_{Th}} \left[ \left( \frac{\sigma_9}{\sigma_5} \right)_{Th} + a_1 \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_5} \right)_{Th} - \left( \frac{\hat{\sigma}_9}{\hat{\sigma}_5} \right)_R - \left( \frac{\hat{\sigma}_0}{\hat{\sigma}_5} \right)_R (a_0 + a_2 k_2 + a_m k_m) \right] \right\}$$

$$\text{onde: } a_1 = \frac{N_1}{N_9} \quad a_0 = \frac{N_0}{N_9} \quad a_2 = \frac{N_2}{N_9} \quad a_m = \frac{N_{Am}}{N_9}$$

$$k_2 = \left( \frac{\hat{\sigma}_2}{\hat{\sigma}_0} \right)_R \quad k_m = \left( \frac{\hat{\sigma}_{Am}}{\hat{\sigma}_0} \right)_R$$

:  $N_0$  é o nº de átomos de  $^{240}\text{Pu}$

$N_1$  é o nº de átomos de  $^{241}\text{Pu}$

$N_2$  é o nº de átomos de  $^{242}\text{Pu}$

$N_{Am}$  é o nº de átomos de  $^{241}\text{Am}$

Os valores de  $k_2$  e  $k_m$  são obtidos ou a partir de  
cálculos teóricos ou de medidas separadas.

Quando se utiliza câmaras cujos depósitos possuem um  
limiar, a técnica utilizada é usar câmaras dopadas. Nesse caso  
incorpora-se geralmente ao isótopo cuja reação tem um limiar de  
fissão., uma quantidade bem conhecida da ordem de 1% de um isô-  
topo cuja seção efetiva é conhecida para o espectro térmico. Co-  
mo por exemplo:

Para se determinar  $\sigma_f^{238}\text{U}/\sigma_f^{239}\text{Pu}$  utiliza-se o par  
câmara de  $^{238}\text{U}$  dopado com 1% de  $^{239}\text{Pu}$  e uma câmara de  $^{239}\text{Pu}$  pu-  
ro.

### 3 - DETECTOR CÂMARA DE FISSÃO

#### 3.1 - Funcionamento

O funcionamento de uma câmara de fissão, é baseado no fenômeno de fissão de alguns elementos, através dos neutrons térmicos e (ou) rápidos.

Uma câmara de fissão é usada para detectar neutrons pela medida da ionização produzida num gás pelos fragmentos de fissão. Estes fragmentos são ejetados no gás quando um neutron causa a fissão na camada físsil da câmara e o pulso de tensão formado pela ionização após cada evento da fissão é coletado por um campo elétrico aplicado.

Os pulsos são contados eletronicamente e permite a medida da taxa de reação na camada físsil no momento em que se produz a fissão, que é diretamente proporcional ao fluxo de neutrons de irradiação.

#### 3.2 - Descrição

As câmaras de fissão miniaturas existentes no IEN para o desenvolvimento das técnicas experimentais em Física de Reatores, foram fabricadas pelo CEA (Centro de Energia Atômica - França).

Os metais utilizados são o aço inoxidável, titânio, alumínio e zircaloy.

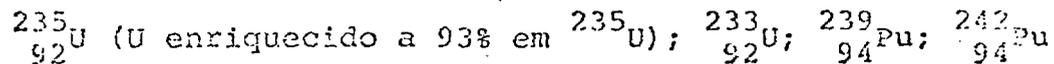
Os isolantes de contato são de material cerâmico e os condutores de titânio o que permite o funcionamento a altas temperaturas.

Os depósitos de material físsil são geralmente feitos sobre um dos eletrodos, a menos quando se quer uma sensibilidade de maior.

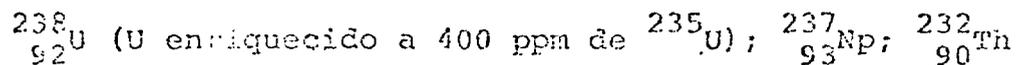
Nas bordas dos eletrodos é mantida uma zona sem depósito de largura tal que não perturbe o campo elétrico, permitindo que a coleção de carga seja completa.

Os depósitos são classificados em três categorias.

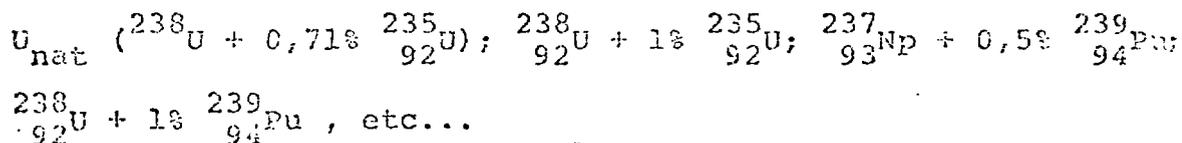
a) depósitos físséis a neutrons térmicos



b) depósitos físséis a neutrons rápidos



c) depósitos de materiais físséis a neutrons rápidos dopados com uma pequena quantidade de um material físsil a neutrons térmicos:



As massas dos depósitos das câmaras existentes no IEN variam de 30 a 500 microgramas.

O conhecimento da composição isotópica é indispensável.

Existem três tipos de geometria de câmaras:

### 1 - Geometria cilíndrica

#### 1.a) Tipo FCT04 :

A câmara tipo FCT04 se apresenta na forma cilíndrica com 4 mm de diâmetro e 23,2 mm de comprimento.

É constituída de titânio e zircaloy, sendo utilizado este último metal para reduzir a absorção parasita dos neutrons.

O depósito físsil é feito sobre o anodo e possui 11 mm de comprimento e 2,8 mm de diâmetro.

Os pulsos se formam em um tempo inferior à 100 ns.

O gás que preenche a câmara é o argônio puro.

Utiliza-se este tipo de câmara, conectando em sua extremidade, prolongadores coaxiais dos mesmos metais com 5 mm de diâmetro e de comprimento variável de 0,5 a 2,8 m (figura 3.1).

Este tipo de câmara é utilizado para medidas de índices de espectro em arranjos críticos.

Apresenta-se no quadro abaixo, a relação das câmaras tipo FCT04 com seus respectivos depósitos existentes no IEN:

Isótopo	nat U	233 U	235 U	239 Pu	240 Pu
Nº da Câmara	1623	1625	1550	1442	1441
	1624	1626	1567	1574	1443
		1866	1622	1620	1621
		1867	1869	1864	
			1870	1865	

Na figura 3.2 mostra-se o esquema da câmara tipo FCT04 .

#### 1.b) Tipo FCY01:

Este tipo em que a câmara está solidária ao prolongador, se apresenta na forma de uma agulha com 800 mm de comprimento e 1,5 mm de diâmetro.

Os metais que constituem a câmara são Inconel e Alumínio.

O depósito físsil tem 0,7 mm de diâmetro e 10 mm de comprimento, e é feito sobre o anodo.

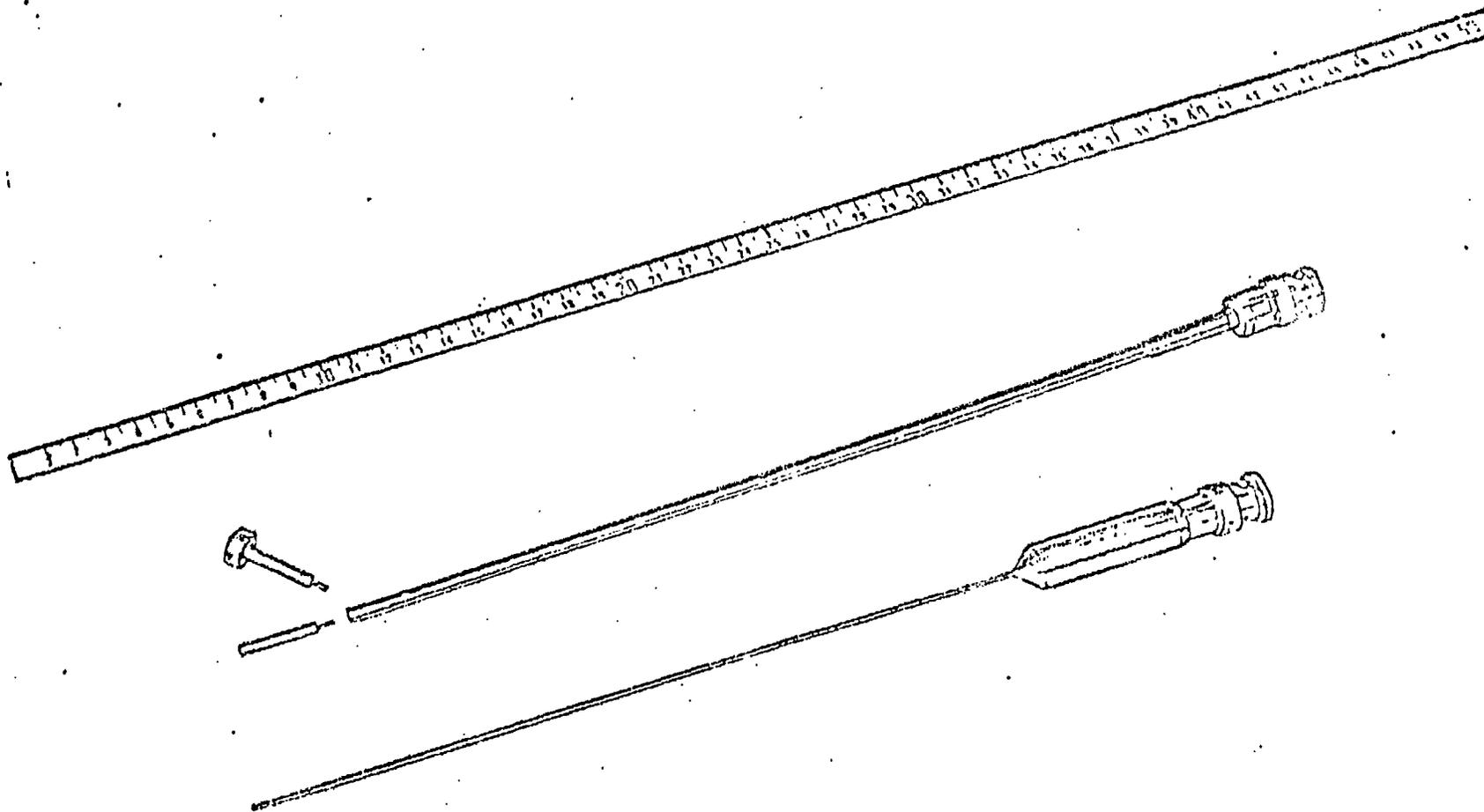


Fig. 3.1 - Prolongadores Coaxiais e Câmaras.

CÂMARA DE Ø4 EM TITANIO TIPO FCT 04

(dimensões em mm)

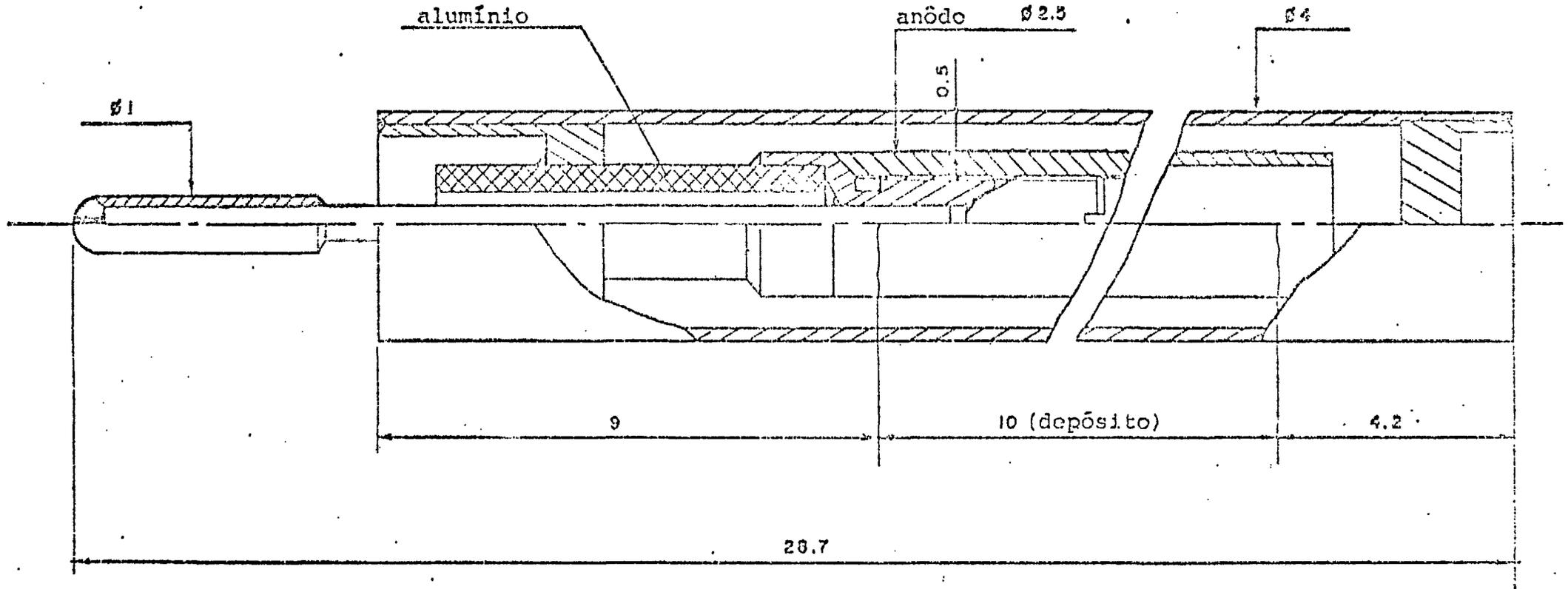


Fig. 3.2

Os pulsos são formados em um tempo inferior a 50 nanosegundos.

A câmara é preenchida com o gás argônio puro.

O esquema da câmara é visto na figura 3.3 e 3.4.

A utilização deste tipo de câmara é para medida de fluxo nos elementos combustíveis de reatores tipo piscina.

O quadro abaixo apresenta a relação das câmaras do tipo FCY01 existentes no IEN:

Isótopo	nat U	235 U	238 U
nº da câmara	1573	1571	1572

## 2 - Geometria plana

### tipo FPZ12:

As câmaras nesta geometria se apresentam com 12mm de diâmetro e 31,5mm de comprimento (figura 3.5)

O material principal de construção é o zircaloy.

O material físsil é depositado sobre o anodo tendo 8 mm de diâmetro.

Os pulsos são formados em um tempo menor que 100 nanosegundos.

Sua utilização é para medida absoluta de fluxo.

Apresenta-se no quadro abaixo as câmaras do tipo FPZ12 existentes no IEN:

CÂMARA AGULHA Ø1.5 TIPO FCY 01

(dimensões em mm)

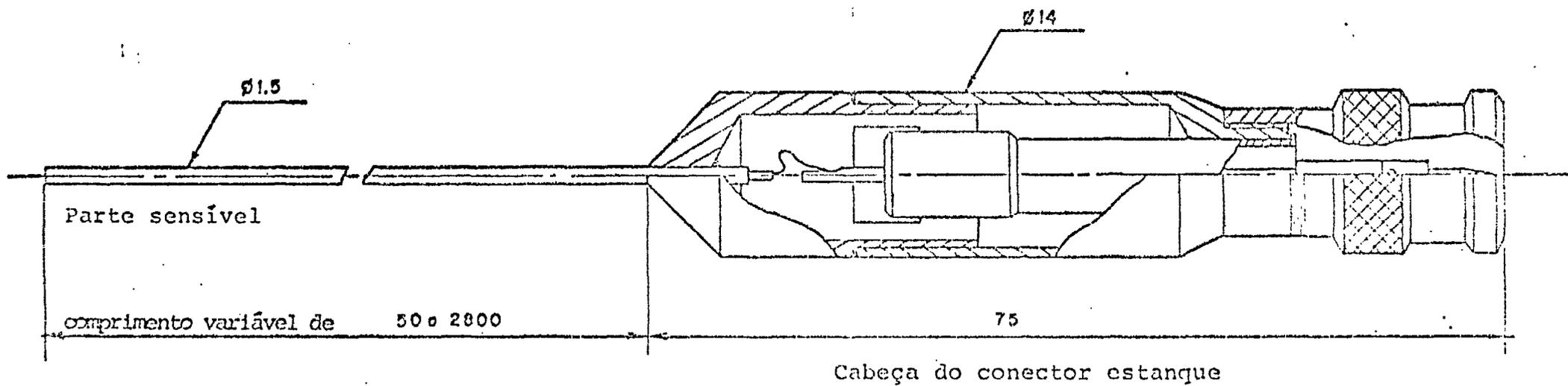


Fig. 3.3



CÂMARA PLANA EM ZIRCALOY TIPO FPZ 12

(dimensões em mm)

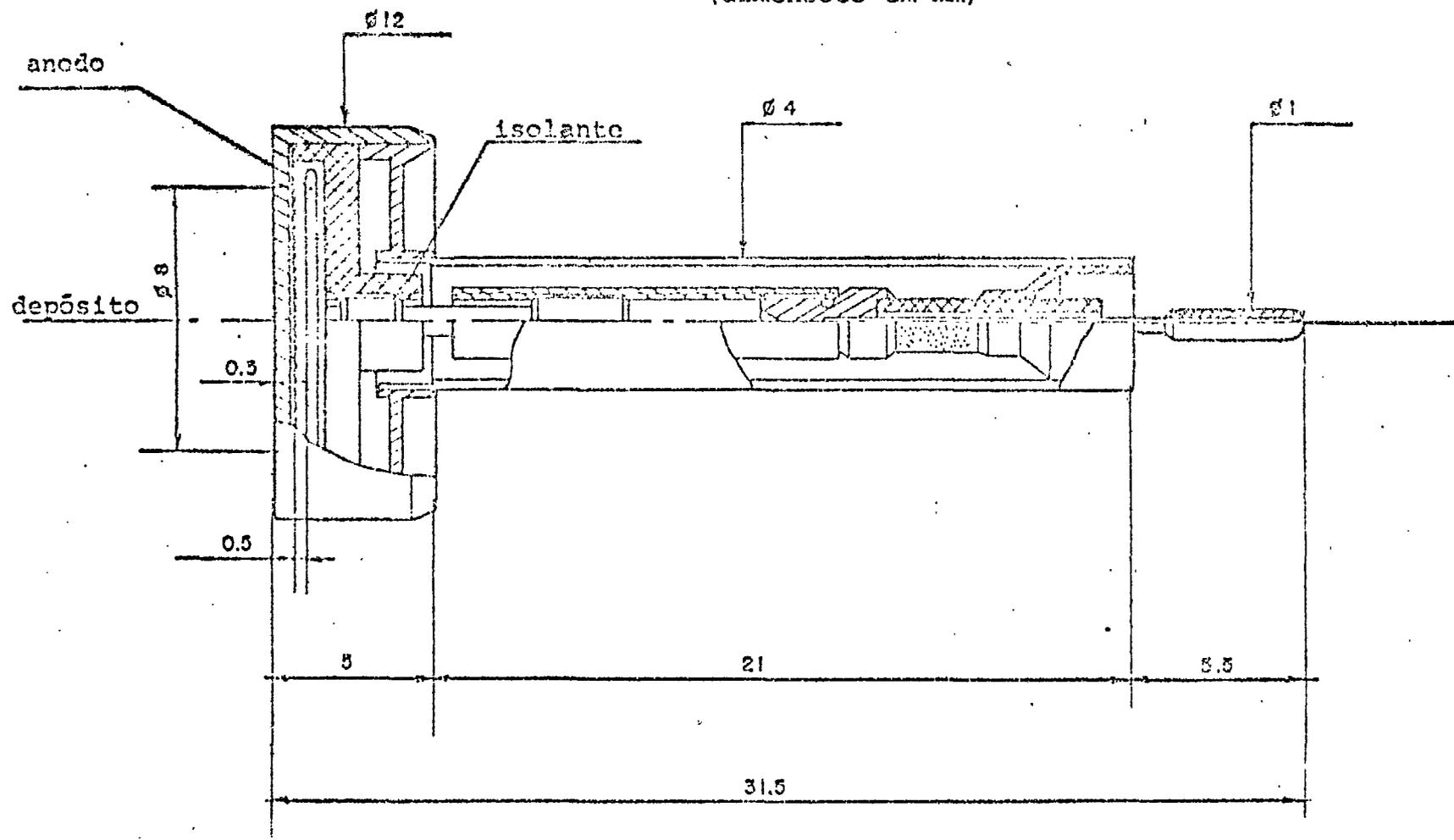


Fig. 3.5

Isótopo	233 U	235 U	237 Np	239 Pu
Nº da câmara	1863	1434 1868	1575	1440 1862

#### 4 - MONTAGEM EXPERIMENTAL

##### 4.1 - Introdução

Como foi dito anteriormente, o meio de irradiação de neutrons empregados para irradiação das câmaras de fissão é o Reator Argonauta.

O Reator Argonauta é um reator de pesquisa utilizando urânio enriquecido a 20% como combustível, água como moderador e refletor de grafite.

O núcleo é constituído de dois cilindros de alumínio concêntricos onde estão situados os elementos combustíveis separados por cunhas de grafite. O elemento combustível é constituído de 17 placas paralelas de 61 cm de comprimento, 7,3 cm de largura e 0,243 cm de espessura. As placas são feitas de uma mistura prensada de pó de alumínio e  $U_3O_8$  enriquecido a 20% (4).

Este Reator é dotado de 13 canais de irradiação na parte frontal e um em cada lateral. Os canais de irradiação são localizados em frente à coluna térmica.

As medidas que serão apresentadas foram feitas na faixa de neutrons térmicos obtidos no canal de irradiação denominado J-2 com a finalidade de verificar o perfeito funcionamento das câmaras e determinar um espectro característico.

Para utilizar somente faixa de neutrons rápidos, como o Reator é térmico, temos que simular um fluxo de neutrons rápidos para se obter a razão da taxa de reação nesse fluxo.

Para isso está sendo construído um novo conversor de neutrons, como está mostrado na figura (4.1).

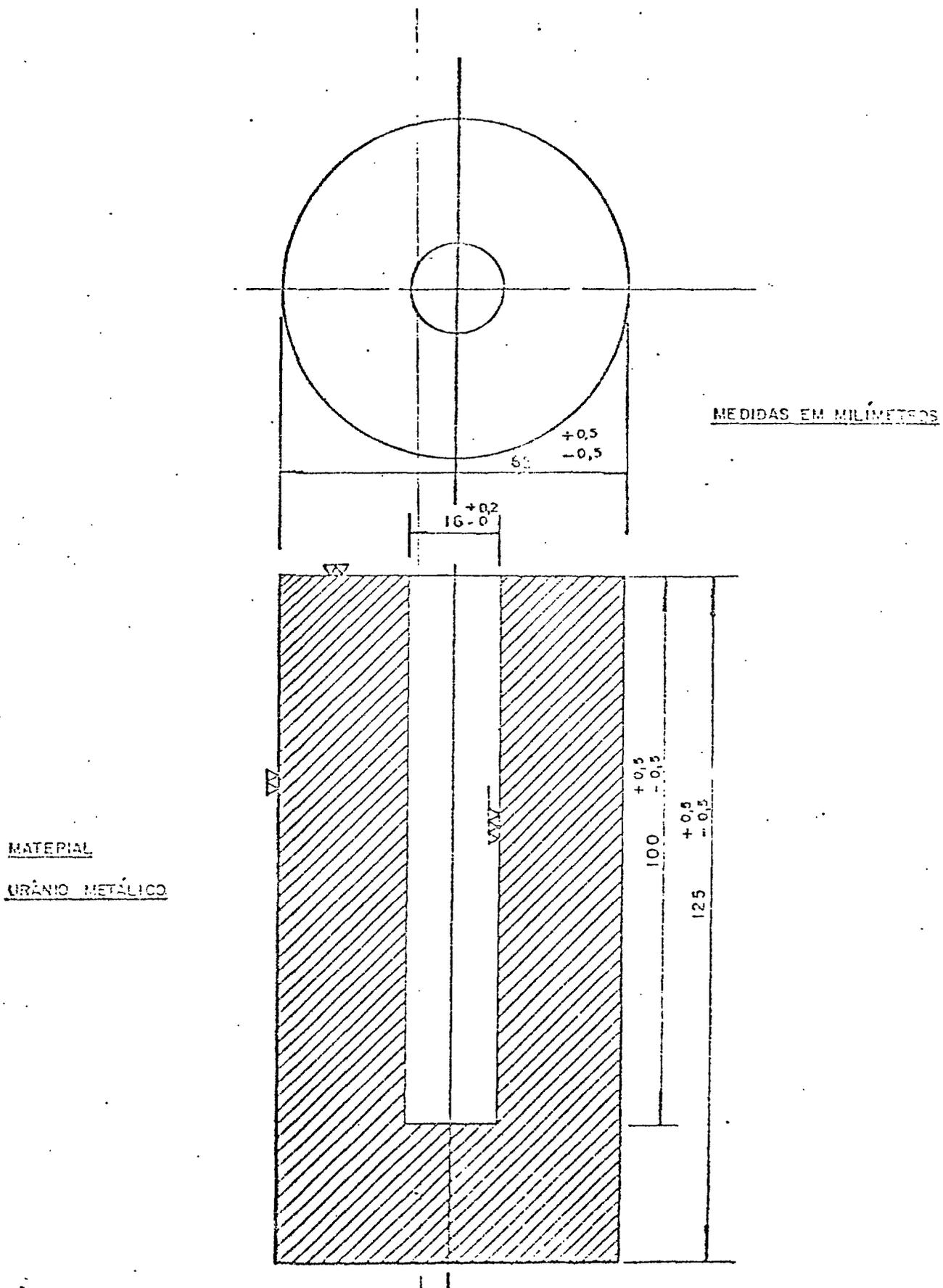


Fig. 4.1 - Desenho esquemático do conversor de neutrons

O conversor é constituído de urânio natural metálico. A razão do seu uso é que os neutrons térmicos provenientes do Reator fissionarão os núcleos de  $^{235}\text{U}$  contidos no U natural; de cada fissão ocorrerá a emissão de dois a três neutrons com energia de aproximadamente 2 Mev. Esses neutrons provenientes da fissão, com energia na faixa rápida fissionarão os núcleos de  $^{238}\text{U}$  o que resulta mais neutrons rápidos e que por sua vez fissionarão outros núcleos de  $^{238}\text{U}$  e assim por diante. Teremos desse modo um fluxo de neutrons rápidos que atingirá a câmara de fissão e esta será recoberta com uma folha de cádmio de espessura suficiente para absorver todos os neutrons térmicos que possam chegar à câmara. Desse modo teremos que a resposta da câmara será devido exclusivamente a neutrons rápidos.

No presente trabalho não foram realizadas medidas utilizando o conversor. Apenas utilizamos um dispositivo que nos traremos no item 4.2 em faixas de neutrons térmicos.

#### 4.2 - Condição de irradiação

O canal de irradiação utilizado foi o J-2 e está localizado conforme a figura (4.2).

Para irradiação das câmaras, foi utilizado um dispositivo como é visto na figura (4.3).

Tal dispositivo é composto de 2 blocos de grafite que se encaixam. O bloco 1 possui aproximadamente 77 cm de comprimento e o bloco 2 aproximadamente 80 cm de comprimento. O segundo bloco possui uma perfuração interna que conterá a câmara de medida.

Conecta-se à câmara, em uma extremidade, um cabo coaxial em aço inox, cujo comprimento é adaptado à experiência.

A câmara é colocada no dispositivo conforme a posição da figura (4.3).

Todo conjunto é colocado dentro do canal de irradiação J-2, como é visto na figura (4.4).

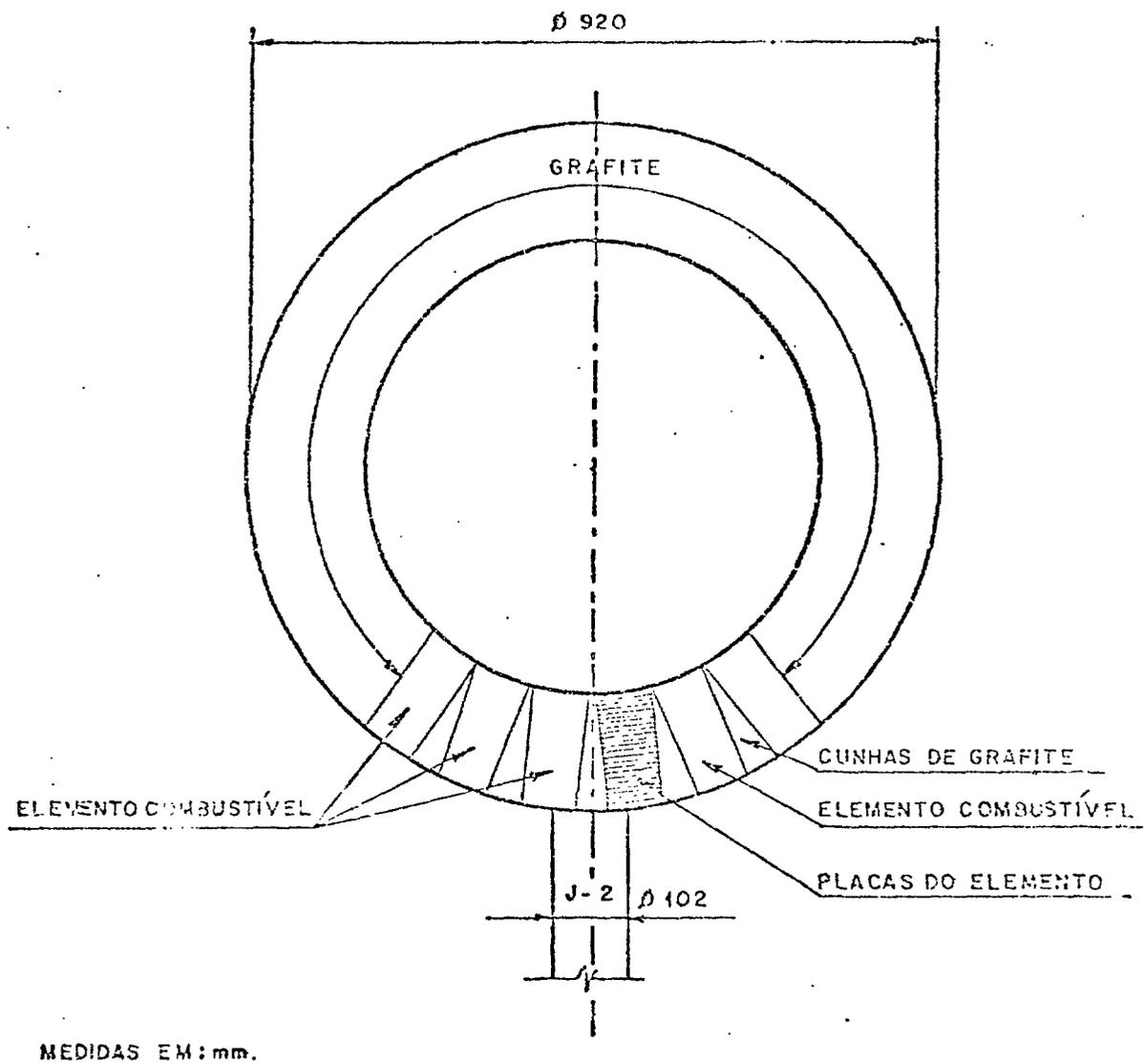
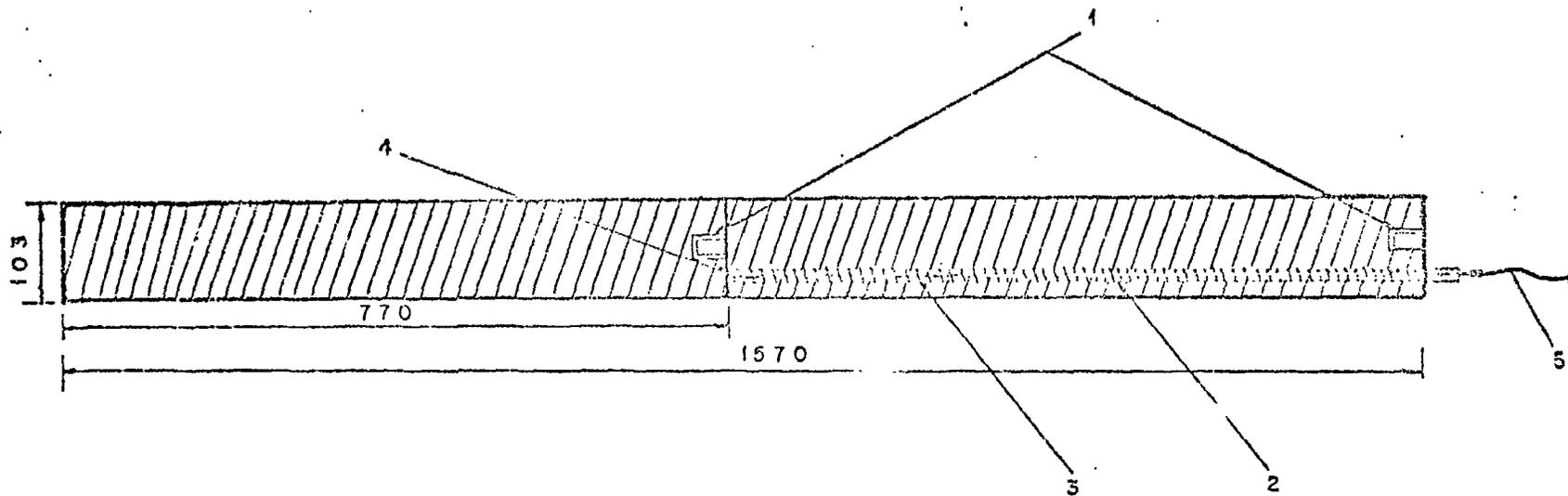


FIG. 4.3 - POSIÇÃO DO CANAL DE IRRADIÇÃO EM RELAÇÃO AO NÚCLEO.



- 1 - BUCHAS PARA O PUXADOR
- 2 - ADAPTADOR PARA INTRODUÇÃO DA CÂMARA
- 3 - HASTE DA CÂMARA
- 4 - CÂMARA DE FISSÃO
- 5 - CABO PARA O PRÉ-AMPLIFICADOR

FIG. 4.4 - DISPOSITIVO DE IRRADIAÇÃO.

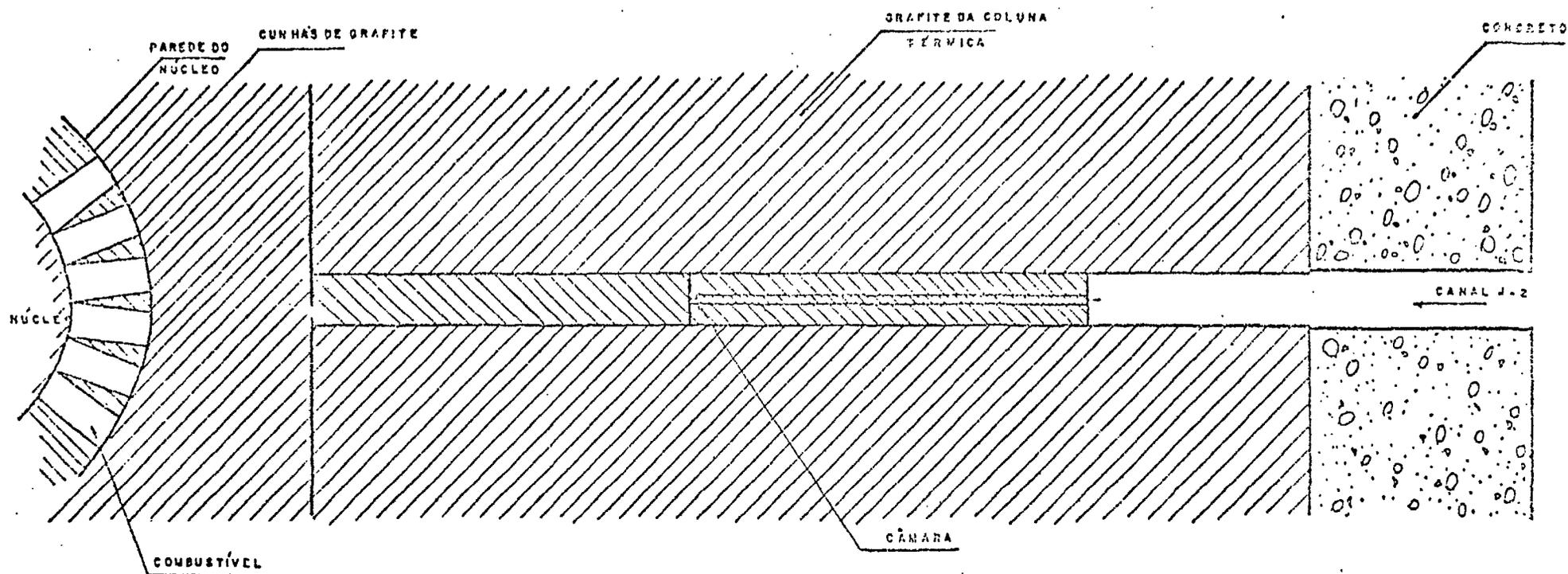


FIG. 4.5 - ARRANJO EXPERIMENTAL COLOCADO NO CANAL J-2 DA COLUNA TÉRMICA.

É importante manter o dispositivo fixo enquanto ele permanece no interior do canal de irradiação.

Só há necessidade de retirar o dispositivo quando as câmaras forem trocadas.

O valor da potência de operação do reator durante as diversas irradiações e o valor da duração destas, são feitas con forme as medidas desejadas.

Várias câmaras foram utilizadas, mas no presente trabalho são apresentadas apenas resultados da câmara nº 1550.

Tal câmara é do tipo FCTO4 (cilíndricas) com depósito físsil de  $^{235}\text{U}$ .

A potência do reator utilizada foi de 170 watts.

Estabilizada a potência, deu-se o início às medidas desejadas.

#### 4.3 - Sistema de contagem

A figura 4.5 mostra o diagrama em bloco do sistema de contagem associado à câmara e é constituído por:

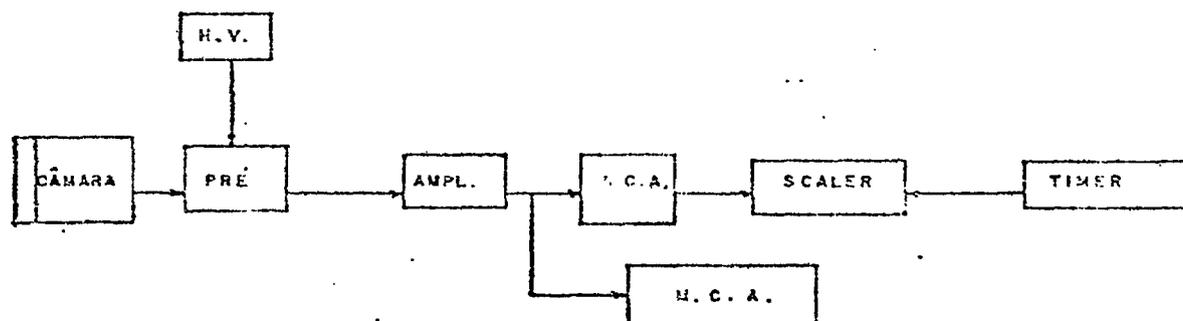


FIG. 4.5 - ESQUEMA DO SISTEMA DE MEDIDA .

H.V. Detector Bias Supply  
pré-amplificador  
amplificador  
S.C.A. Single Channel Analysis  
Timer  
M.C.A. Multichannel Analysis

#### 4.4 - Técnica de medida

Inicialmente foram feitas medidas com a finalidade de verificar as características da câmara fornecidas pelo fabricante.

O funcionamento de uma câmara de fissão pode ser representada essencialmente por meio da curva de discriminação e da curva característica da câmara.

Após a verificação de que a câmara está em perfeitas condições de funcionamento, usando um Analisador Multicanal, levantamos o espectro de fissão desejado (item 4.4.1).

O espectro obtido no Analisador Multicanal é registrado e em seguida transportado para cartões que servirão de dados de entrada do Programa ESFI (Capítulo 5).

##### 4.4.1 - Levantamento das características da câmara nº 1550

###### A - Medida da corrente de fuga da câmara

Como entre a fonte de alta tensão e a câmara existem resistências muito elevadas (1,3 M $\Omega$  no pré-amplificador), faz-se necessário uma medida da corrente de fuga da câmara nº 1550, para determinar a tensão real  $V_c$  a ela aplicada.

O diagrama do sistema da medida de corrente da figura é dado na figura 4.6.

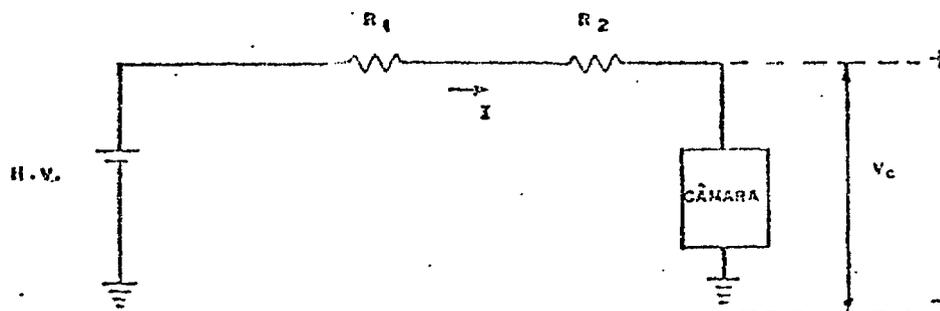


FIG. 4.6- DIAGRAMA DO SISTEMA DE MEDIDA DE CORRENTE DE FUGA.

$R_1 = 1,3 \text{ M } \Omega \rightarrow$  resistência interna da fonte

$R_2 = 23 \text{ M } \Omega \rightarrow$  resistência do pré-amplificador

$V_c \rightarrow$  voltagem da câmara

H.V.  $\rightarrow$  voltagem na fonte de polarização

Observou-se que aplicando-se tensões comparáveis à voltagem de operação da câmara fornecida pelo fabricante, a corrente de fuga é desprezível.

#### B - Curva de discriminação integral

Com H.V. = 300 volts, variando-se o nível de discriminação, obteve-se a curva da fig. 4.7.

Para pequenos valores de  $V$  (menores de 0,4 volts) os impulsos parasitas são todos contados. Nota-se que entre 0,4 e 1,0 volts, a taxa de contagem permanece invariável e independente do limiar de discriminação. A curva apresenta então um patamar pois a maior parte dos impulsos são todos maiores que os pulsos parasitas.

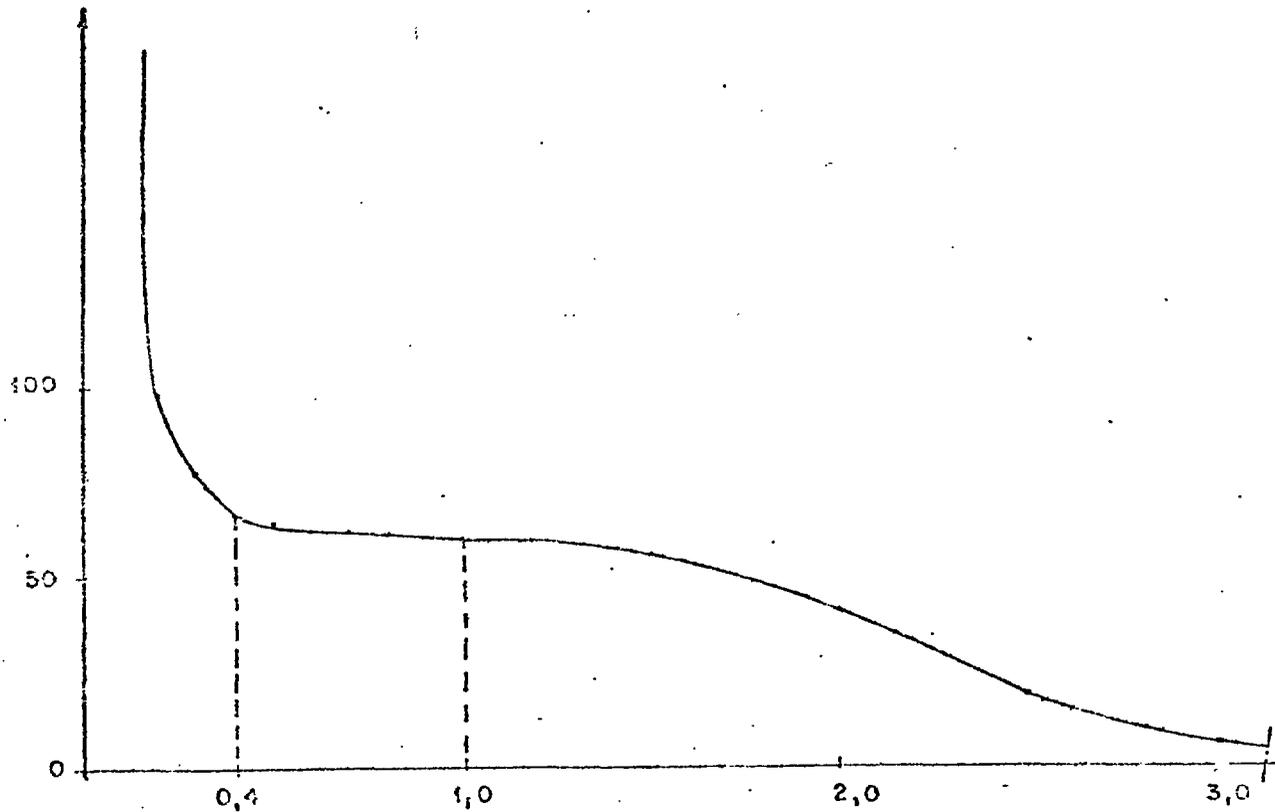


FIG. 4.7 - CURVA DE DISCRIMINAÇÃO INTEGRAL

C - Curva característica da câmara

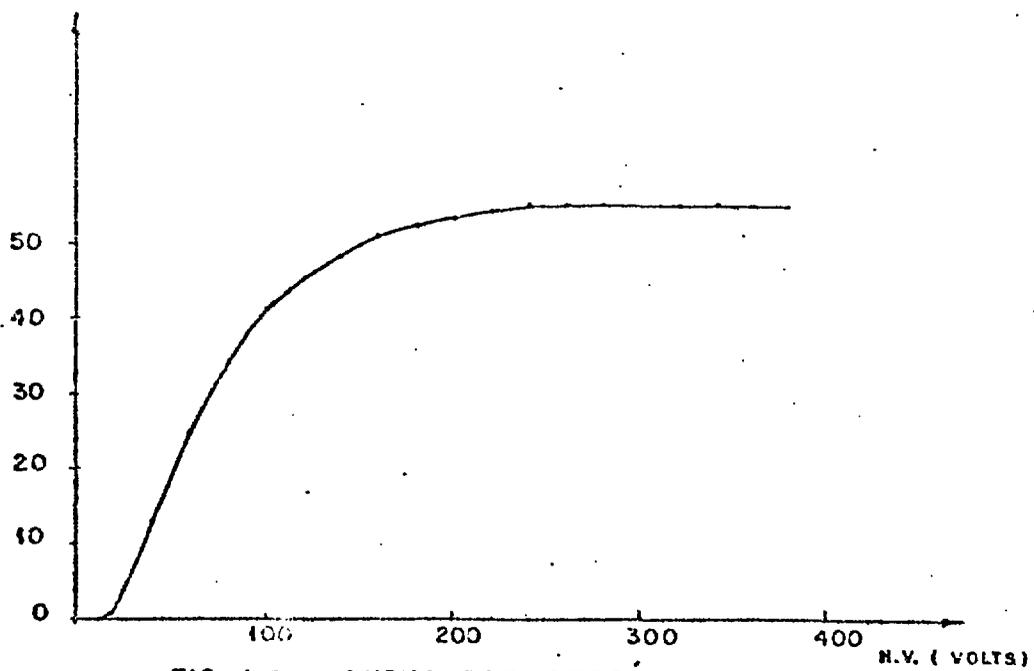


FIG. 4.8- CURVA CARACTERÍSTICA

Um gráfico da curva característica desta câmara é mostrada na fig. 4.8 obtida com nível de discriminação em 0,4 volts.

Nesta curva, nota-se que a taxa de contagem praticamente independe da alta tensão a partir de 150 volts.

A partir daí, escolheu-se 300 V como a voltagem de operação da câmara, o que corresponde à tensão fornecida pelo fabricante.

#### D - Espectro característico da câmara

Determinadas as características da câmara de fissão nº 1550 e verificadas suas condições de funcionamento, com a alta tensão em 300 volts e usando-se o analisador multicanal, (M.C.A.) obteve-se o espectro de fissão característico da câmara, fig. 4.9.

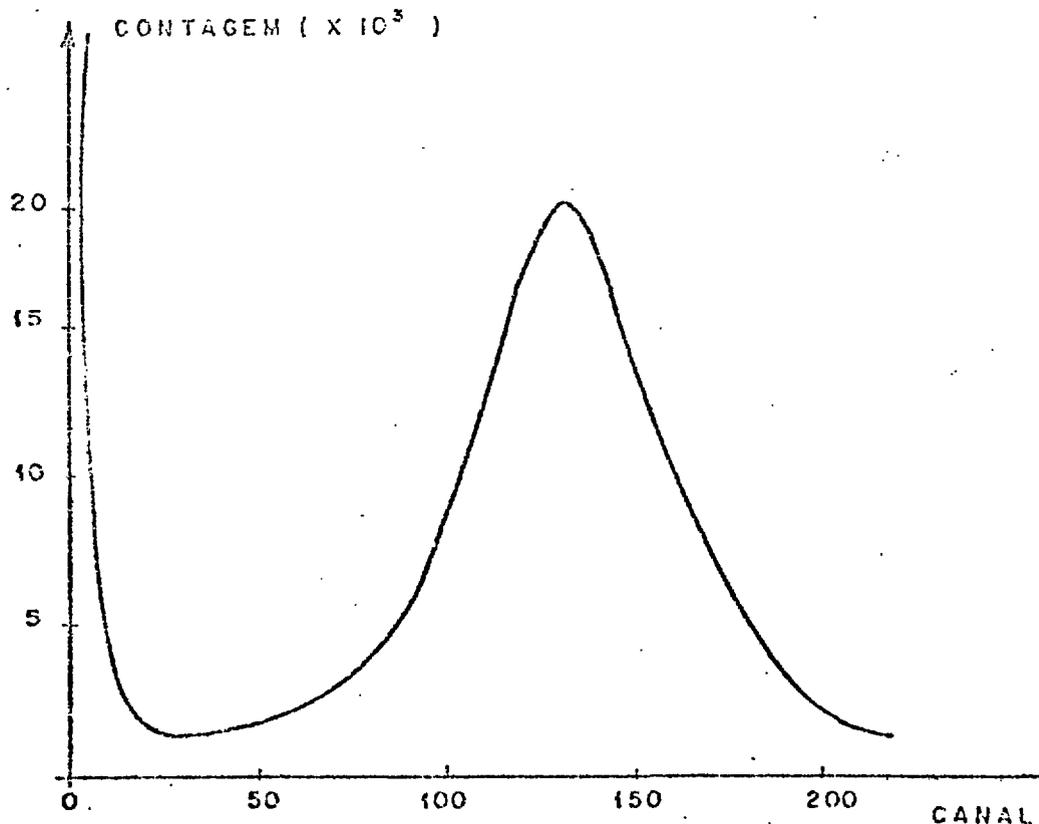


FIG. 4.9 - ESPECTRO CARACTERÍSTICO DA CÂMARA EXPOSTA AO FEIXE DE NEUTRONS DO CANAL J-2 DO REATOR.

O espectro característico de uma câmara de fissão de pende de vários fatores, sendo os principais:

- espessura e homogeneidade do depósito
- posição da superfície do eletrodo onde o material físsil é depositado.
- geometria da câmara
- tensão aplicada

Como o depósito de material físsil não é muito fino, o espectro de fissão registrado não apresenta uma relação grande pico-vale, aumentando assim a incerteza quanto ao espectro de fissão, devido às partículas  $\alpha$  geralmente emitidas pelo material depositado. Daí a necessidade do tratamento destes dados, o que é feito pelo programa ESFI.

#### E - Variação da posição do pico do espectro da fissão

A variação da posição do pico com a tensão aplicada também foi analisada observando-se a posição do pico em um multicanal para várias tensões aplicadas à câmara. O resultado obtido (fig. 4.10) mostra que o ponto de operação escolhido (300V) encontra-se na região proporcional, o que indica o perfeito funcionamento da câmara.

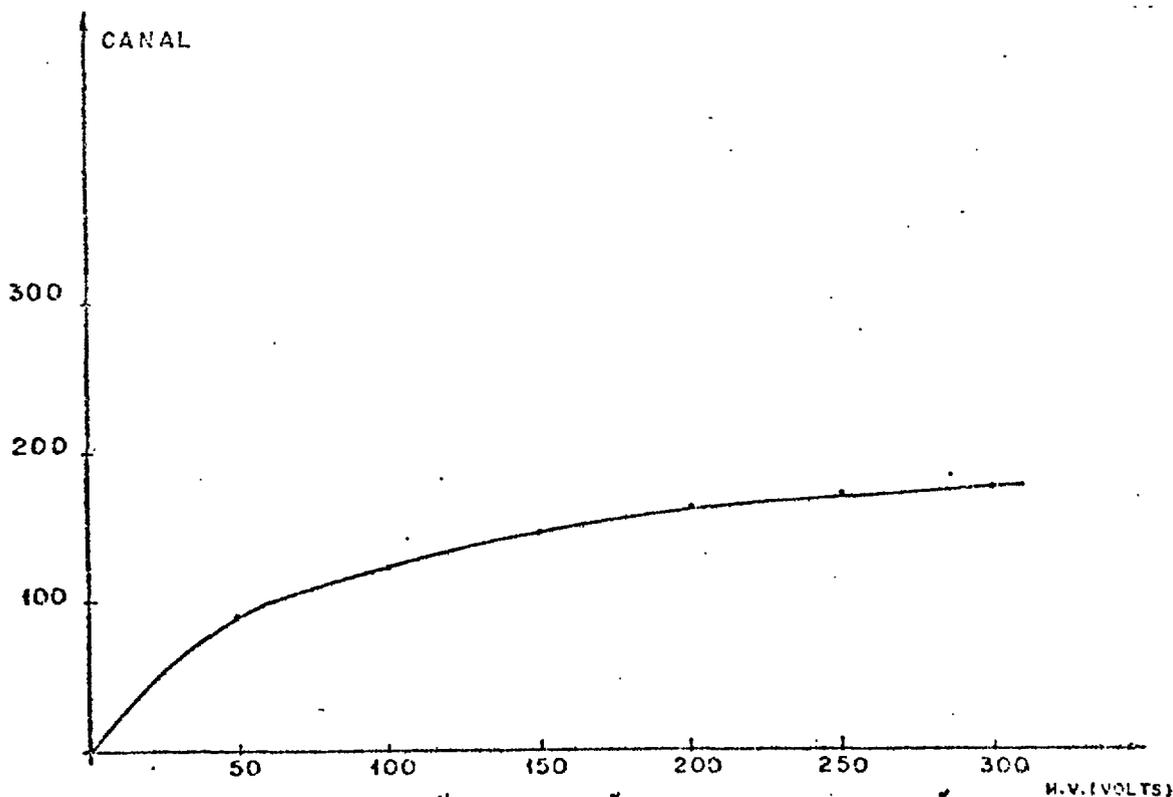


FIG. 4.10- VARIACÃO DA POSIÇÃO DO PICO COM A TENSÃO APLICADA.

## 5 - TRATAMENTOS DE DADOS

### 5.1 - Código ESFI

O código ESFI, adaptação do programa francês DECAF, é utilizado para o tratamento dos dados recolhidos das contagens feitas com câmaras de fissão. É composto do programa principal e cinco subrotinas e é feito para espectros registrados por analisadores multicanal em 100 ou 200 canais.

O tratamento dos dados obtidos no multicanal se justifica considerando a contribuição, ao aspecto de pulsos da câmara, da radiação alfa que acompanha o processo. Por outro lado, os depósitos do material físsil não são muito finos e assim os espectros de fissão registrados não apresentam uma relação grande pico-vale.

Assim sendo a escolha de um ponto de funcionamento a partir da curva de discriminação pode acarretar uma incerteza muito grande na fração do espectro de fissão obtido.

O ponto de operação considerado é então obtido do próprio espectro de fissão fornecido pela câmara pela determinação de um extremo inferior de cada espectro, do modo que se segue:

Calcula-se inicialmente o valor médio da integral máxima do pico que vem a ser a máxima soma de contagens obtidas em 10 (dez) canais consecutivos.

Localizada a soma máxima sob 10 canais toma-se  $1/8$  da soma dos canais extremos correspondentes a esta soma obtendo-se um número inteiro que corresponde ao novo intervalo de busca de área (soma) máxima, que uma vez localizada corresponderá ao pico.

Determina-se então um canal de referência, situado à direita do pico (fig. 5.1), partindo daquele cuja contagem correspondente é a mais próxima da metade do valor médio da integral máxima do pico. Em seguida, por um ajuste de reta por mínimos quadrados em volta deste ponto determina-se a interseção desta reta com o valor da meia altura do pico e obtém-se um número que é o canal de referência R.

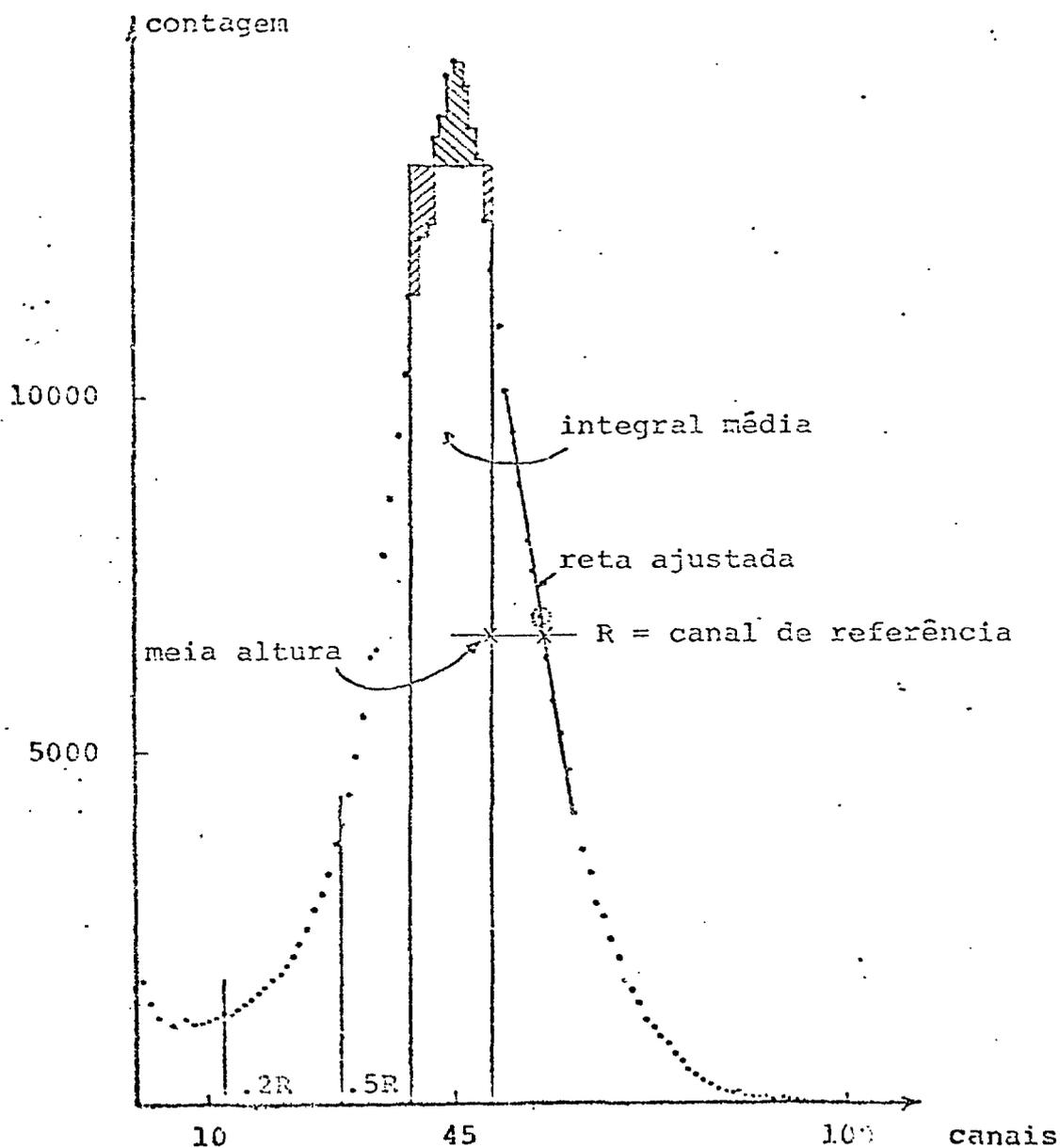


Fig. 5.1 - Espectro de pulsos da câmara de fissão

A integral do espectro (taxa de contagem) é então calculada para 5 valores diferentes de corte do espectro: 0,20R; 0,25R; 0,30R; 0,40R; 0,50R. A escolha do melhor corte só poderá ser efetuada quando se estudar a variação dos índices de espectro para os vários cortes.

Cada integral é expressa por unidade de potência do reator e por unidade de tempo e estas integrais serão introduzidas em outro programa (TAFI) para o cálculo do índice de espectro.

Uma saída típica deste programa é mostrado na página seguinte.

DATA	LOCAL	SERIE	NUMERO DE ORDEN	NATUREZA DA CAMARA	NUMERO DA CAMARA	NUMERO DE EXPERIENCIAS	DURACAO
15/10/74	CANAL J9	1	1	URBS CIL	1	2	3.000

CANAL 30 DE PARTIDA PARA A BUSCA INICIAL DO PICO

* EXPERIENCIA	1	* BUSCA INICIAL CANAIS	40	A	49	* LARGURA INICIAL DA BUSCA	10	CANAIS	*
* REFERENCIA	50.37	* BUSCA FINAL CANAIS	39	A	50	* LARGURA FINAL DA BUSCA	12	CANAIS	* VALOR MEDIO DO PICO
									27945
* EXPERIENCIA	2	* BUSCA INICIAL CANAIS	40	A	49	* LARGURA INICIAL DA BUSCA	10	CANAIS	*
* REFERENCIA	50.23	* BUSCA FINAL CANAIS	39	A	50	* LARGURA FINAL DA BUSCA	12	CANAIS	* VALOR MEDIO DO PICO
									20956

* EXPERIENCIA	* CORTE 0.20	* CORTE 0.25	* CORTE 0.30	* CORTE 0.40	* CORTE 0.50
1	13097.047	12970.465	12010.832	12444.602	11048.715
2	13559.422	13423.125	13274.949	12901.973	12314.547
MEDIA	13328.234	13196.793	13046.891	12673.285	12081.629
DESVIO	6.376	6.292	6.377	6.488	6.768

TABELA DOS VALORES MEDIOS NORMALIZADOS PARA O VALOR MEDIO DOS DIFERENTES CORTES

* CORTE	* 0.20	* 0.25	* 0.30	* 0.40	* 0.50
0.20	1.000	0.990	0.979	0.951	0.906
0.25	1.010	1.000	0.989	0.960	0.915
0.30	1.022	1.011	1.000	0.971	0.926
0.40	1.052	1.041	1.029	1.000	0.953
0.50	1.103	1.092	1.080	1.049	1.000

* CORTE	* 0.20	* 0.25	* 0.30	* 0.40	* 0.50
* SERIE 1	* 13328.23	* 13196.79	* 13046.89	* 12673.29	* 12081.63

## 5.2 - Código TAFI

O programa TAFI consiste de 9 subrotinas, sendo 3 subrotinas obrigatórias e 6 optativas, e tendo cada uma delas sua própria função. Os resultados do programa ESPI serão utilizados como dados de entrada do programa TAFI que tem os seguintes objetivos principais:

- a estocagem sobre fitas magnéticas dos resultados das medidas para cada câmara.
- calcular um coeficiente de ponderação para cada câmara, baseando-se em todas as câmaras de uma mesma natureza, isto é, na mesma composição isotópica e mesma geometria.
- melhorar este coeficiente de ponderação, caso se introduza mais câmaras de natureza igual àquela para a qual foi calculado o coeficiente de ponderação anterior e ou mais medidas feitas com as câmaras anteriores.
- calcular um coeficiente de calibração térmica para cada par de natureza, desde que tenha sido anteriormente calculado um coeficiente de ponderação para cada câmara que constitui o par.
- calcular o índice de espectro desejado para um par de natureza desde que tenha sido calculado anteriormente o coeficiente de calibração térmica.

A cada nova série de medidas o programa é realimentado o que faz com que ele recalcule os coeficientes de ponderação, podendo assim sempre melhorar-se as medidas do índice de espectro, no que diz respeito à sua precisão.

### 1 - Coefficiente de Ponderação

As câmaras de fissão são classificadas por natureza de depósito. Como as massas dos depósitos variam, obtém-se contagem diferentes para um mesmo fluxo. O programa faz, através de uma das subrotinas, uma ponderação de tal forma que todas as câmaras ficam relacionadas a uma câmara teórica.

Dois casos podem ocorrer:

$$1) \quad X_i = \frac{Y_i}{\sum_{j=1}^n M_j Y_j} \sum_{j=1}^n M_j$$

$X_i$  - é o coeficiente de ponderação de uma câmara  $i$  de natureza  $A$

$Y_i$  - é o valor médio das integrais médias obtido para a câmara de natureza  $A$ .

$n$  - é o número de câmaras diferentes de natureza  $A$  incluindo a câmara  $i$

$M_j$  - é o número de medidas efetuadas com cada câmara  $j$  de natureza  $A$

$Y_j$  - valor médio das integrais médias obtida para a câmara  $j$  de natureza  $A$

## 2) Coeficiente de ponderação melhorado

Pode-se melhorar um coeficiente de ponderação já existente para uma câmara introduzindo novas câmaras de mesma natureza e (ou) novas medidas realizadas com as câmaras com que já se calculou o coeficiente de ponderação. O novo coeficiente de ponderação é dado por:

$$X'_i = \frac{M_i X_i + N_i Y'_i \left( \sum_{j=1}^{n'} \frac{N_j M_j X_j}{Y'_j} \right)}{M_i + N_i \left( \sum_{j=1}^{n'} M_j N_j \right)}$$

onde:  $X'_i$  é o novo coeficiente de ponderação para a câmara  $i$  de natureza  $A$

$M_i$  é o número de medidas realizadas com a câmara  $i$  para o cálculo do coeficiente de ponderação antigo

$X_i$  é o coeficiente de ponderação antigo da câmara  $i$

- $N_i$  é o número do total de medidas realizadas com a câmara  $i$  (medidas antigas + medidas novas);
- $Y'_i$  valor médio das integrais médias das  $N_i$  medidas realizadas com a câmara  $i$
- $n'$  é o número de câmaras diferentes, novas + antigas, de natureza A  $n' \geq n$
- $N_j$  é o número total de medidas realizadas com a câmara  $j$  de natureza A
- $M_j$  é o número de medidas antigas realizadas com a câmara  $j$  de natureza A
- $X_j$  é o coeficiente de ponderação antigo obtido para a câmara  $j$  de natureza A
- $Y'_j$  é o valor médio das integrais médias das  $N_j$  medidas realizadas com a câmara  $j$  de natureza A

## 2 - Coefficiente de Calibração Térmica

Para um par de naturezas diferentes, A e B por exemplo, o programa calcula através de uma das suas subrotinas, o coeficiente de calibração térmica.

Este é dado pela razão do valor médio teórico das integrais médias obtidas através de todas as câmaras de natureza A para o valor médio teórico das integrais médias obtidas através de todas as câmaras de natureza B, para as câmaras irradiadas no fluxo térmico.

O coeficiente de calibração térmica é calculado de duas formas diferentes:

1 - naturezas envolvendo câmaras que não contêm  $^{241}\text{Pu}$

$$C_{ct} = \frac{(1/N) \sum_{i=1}^n (Y_i/X_i)}{(1/L) \sum_{j=1}^l (Y_j/X_j)}$$

onde:  $C_{ct}$  é o coeficiente de calibração térmica

- $N$  é o número de câmaras do numerador de natureza A  
 $Y_i$  e  $Y_j$  valor médio das integrais médias obtidas experimentalmente para a câmara  $i$  e  $j$  de natureza A e B respectivamente.  
 $X_i$  e  $X_j$  coeficiente de ponderação obtido para as câmaras  $i$  e  $j$  respectivamente  
 $L$  nº de câmaras do denominador de natureza B.

2 - naturezas envolvendo câmaras do numerador que contêm  $^{241}\text{Pu}$   
 Denominando câmaras de natureza A aquelas cuja composição isotópica contenham  $^{241}\text{Pu}$ .

$$C_{ct} = \frac{(1/N) \sum_{i=1}^n (Y_i/X_i) \text{ALA} (i)}{(1/L) \sum_{j=1}^l (Y_j/X_j)}$$

onde: ALA (i) é um fator que multiplica a atividade de cada câmara  $i$  para corrigir a atividade em relação a um tempo de referência escolhido, isso devido ao decaimento do  $^{241}\text{Pu}$ .

No programa ALA (i) é calculado para cada câmara  $i$  através da subrotina DECROI e é dado para cada câmara por:

$$\text{ALA} = \frac{N_9 + N_1 (\sigma_1/\sigma_9)_{\text{Th}}}{N_9 + N_1 e^{-\lambda t} (\sigma_1/\sigma_9)_{\text{Th}}}$$

onde:  $N_9$  é a porcentagem do número de núcleos de  $^{239}\text{Pu}$  existentes na câmara  $i$  de natureza A  
 $N_1$  é a porcentagem do número de núcleos de  $^{241}\text{Pu}$  existentes na câmara  $i$  de natureza A.

$(\sigma_1/\sigma_9)_{\text{Th}}$  é o índice de espectro térmico

$t$  é o tempo decorrido desde o tempo de referência

$\lambda$  é a constante de desintegração do  $^{241}\text{Pu}$

### 3 - Índice de Espectro

O programa calcula o índice de espectro de modo diferente segundo as naturezas de câmara

a) Para naturezas contendo somente um isótopo

$$I.E. = \left( \frac{\sigma_f^A}{\sigma_f^B} \right)_R = \left[ \frac{(1/N) \left( \sum_{i=1}^n Y_i / X_i \right) / (1/LN) \left( \sum_{j=1}^l Y_j M_j / X_j \right)}{CCT} \right] \left( \frac{\sigma_f^A}{\sigma_f^B} \right)_{Th}$$

onde normalmente  $\sigma_f^B = \sigma_f^5$

onde: N é o número de câmaras diferentes usadas para o cálculo do índice de espectro, mas que se tenha calculado o coeficiente de ponderação e o coeficiente de calibração térmica.

LN é o número de medidas efetuadas com todas as câmaras do denominador usadas para o cálculo do índice de espectro, mas que se tenha calculado o coeficiente de ponderação e o coeficiente de calibração térmica

$Y_i, Y_j$  valor médio de várias medidas da atividade obtida no fluxo de neutrons rápidos para a câmara i de natureza A e para a câmara j de natureza B respectivamente.

$M_j$  número de medidas efetuadas com a câmara j de natureza B no fluxo de neutrons rápidos

CCT coeficiente de calibração térmica para a razão de natureza A/B

b) Para pares cuja natureza do numerador contenha  $U^{nat}$

$$I.E. = \left( \frac{\hat{\sigma}_f^8}{\hat{\sigma}_f^5} \right)_R = \left[ \frac{(1/N) \left( \sum_{i=1}^n y_i / X_i \right) / (1/LN) \left( \sum_{j=1}^l y_j M_j / X_j \right)}{CCT} - 1 \right] \frac{N_5^{nat}}{N_8^{nat}}$$

onde: CCT é o coeficiente de calibração térmica obtido para a razão de natureza  $^{nat}U$  e  $^{235}U$

$N_5^{nat}$  porcentagem em número de núcleos de  $^{235}U$  contidos no  $^{nat}U$

$N_8^{nat}$  porcentagem em número de núcleos de  $^{238}U$  contidos no  $^{nat}U$ .

c) Índice para naturezas contendo  $^{241}Pu$  em relação a uma natureza simples  $^{235}U$

$$I.E. = \left( \frac{\hat{\sigma}_f^1}{\hat{\sigma}_f^5} \right)_R = \frac{1}{a_1} \left\{ \frac{A(O)}{CCT(O)} \left[ \left( \frac{\sigma_9}{\sigma_5} \right)_{Th} + a_1 \left( \frac{\sigma_1}{\sigma_5} \right)_{Th} \right] - \left( \frac{\hat{\sigma}_9}{\hat{\sigma}_5} \right)_R - \left( \frac{\hat{\sigma}_0}{\hat{\sigma}_5} \right)_R \cdot (a_0 + a_2 k_2 + a_m k_m) \right\}$$

onde  $A(O)$  é a atividade experimental obtida corrigida para um tempo de referência

$a_0, a_1, a_2, a_m, k_2$  e  $k_m$  já foram definidos anteriormente.

$CCT(O)$  coeficiente de calibração térmica no tempo de referência.

outras expressões utilizadas no TAFI para cálculo do índice de espectro:

$$\left(\frac{\hat{\sigma}_0}{\hat{\sigma}_5}\right)_R = \frac{1}{a_0 + a_2 k_2} \left\{ \frac{\Lambda(0)}{\text{CCT}(0)} \left[ \left(\frac{\sigma_9}{\sigma_5}\right)_{\text{Th}} + a_1 \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_5}\right)_{\text{Th}} \right] \left(\frac{\hat{\sigma}_9}{\hat{\sigma}_5}\right)_R - a_1 \left(\frac{\hat{\sigma}_1}{\hat{\sigma}_5}\right)_R \right\}$$

$$\left(\frac{\hat{\sigma}_2}{\hat{\sigma}_5}\right)_R = \frac{1}{a_2 + a_0 k_0 + a_m k_m} \left\{ \frac{\Lambda(0)}{\text{CCT}(0)} \left[ \left(\frac{\sigma_9}{\sigma_5}\right)_{\text{Th}} + a_1 \left(\frac{\sigma_1}{\sigma_5}\right)_{\text{Th}} \right] \left(\frac{\hat{\sigma}_9}{\hat{\sigma}_5}\right)_R - a_1 \left(\frac{\hat{\sigma}_1}{\hat{\sigma}_5}\right)_R \right\}$$

onde:

$\hat{\sigma}_0$  é a seção de choque para a fissão do  $^{240}\text{Pu}$   
 $\hat{\sigma}_2$  é a seção de choque para a fissão do  $^{242}\text{Pu}$

BIBLIOGRAFIA

- 1 - Rapport CEA n° 744 - M. Guery et J. Jachon
- 2 - Revue de Physique Appliquée - Tome 6, Juin 1971 - page 121  
M. Guery et A. Jarrige.
- 3 - Nota Técnica Interna IEN n° 07/1974 - M. Pacheco e D. Souza
- 4 - Manual do Reator Argonauta - IEN (1966)
- 5 - Nota Técnica SPE n° 213/1974 - J. Pinel.
- 6 - Nota Técnica Interna - IEN n° 06/1974 - M. Pacheco  
- B.I.S.T. Commissariat à l'Energie Atomique n° 170 - maio  
1972 - J.L. Campan, R. Bossier, J.P. Brunet, J.G. Leho  
M. Guery et P. Menessier.