



22 a 27 de abril de 1990

ANAIIS - PROCEEDINGS

**DESENVOLVIMENTO DE CÂMARA DE FISSÃO PARA CONTROLE
DE REATORES NUCLEARES**

Maria da Conceição Costa Pereira
Celia Marina Napolitano
Homero E. Bañados Pérez

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05508 - São Paulo - Brasil

SUMÁRIO

As Câmaras de Fissão são detectores de ionização gasosa que funcionam em regime de câmara de ionização, ou seja sem multiplicação eletrônica. Como o nêutron não ioniza diretamente o gás, a câmara de fissão possui um depósito de material físsil que reage com os nêutrons para gerar os fragmentos de fissão, que são fortemente ionizantes. Estes detectores são geralmente utilizados operando em pulsos para a medição do fluxo de nêutrons durante a partida ou parada do reator, devido a elevada amplitude dos pulsos gerados pelos fragmentos de fissão, facilmente discrimináveis dos pulsos gerados pela radiação alfa do urânio e do campo gama externo. Operando em corrente ou flutuações de corrente (Campbell) a utilização pode ser estendida à toda faixa de operação do reator.

ABSTRACT

Fission Chambers are gas-filled type detectors that operate in the ionization chamber regime, which is without electron multiplication. As the fill-gas is not directly ionized by neutrons, fission chambers are lined with fissile material that through interaction with neutrons fission products are produced, are highly ionizing particles. Pulse type operation of these detectors are used for neutron flux measurements during start up and shut-down reactor conditions in which pulses of high amplitude produced by fission products can be easily discriminated from those produced by alpha radiation from uranium and also from the external gamma field. With current or current fluctuation mode operation (Campbell) the use of these detectors can be extended for the whole range of reactor operation.

INTRODUÇÃO

As câmaras de fissão são detectores de nêutrons térmicos que funcionam em regime de câmara de ionização, sem multiplicação de elétrons primários, sendo coletados apenas os elétrons e os íons positivos gerados inicialmente.

Seu funcionamento está baseado no fenômeno de fissão de certos elementos físséis pelos nêutrons térmicos. Como consequência há a produção de fragmentos de fissão, que são partículas de elevada energia e carga elétrica, fortemente ionizantes.

Estes detectores geralmente são utilizados em pulsos para a medida de fluxo de nêutrons durante a partida ou parada do reator, devido a elevada amplitude dos pulsos gerados pelos fragmentos de fissão. Estes pulsos são facilmente discrimináveis dos que são gerados pelas partículas alfa dos elementos físséis, naturalmente radioativos e pelo campo gama externo. Operando em corrente ou flutuações de corrente (Campbell), a sua utilização pode ser estendida à toda faixa de operação do reator.

Para a medida de fluxo de nêutrons do reator, as câmaras de fissão devem ter alta sensibilidade à nêutrons, perfeita discriminação entre nêutrons e radiação gama e alfa, contagens independentes de pequenas variações de alta tensão, baixa queima para altos fluxos integrados, robustez mecânica, manter-se em operação contínua sem alteração de suas características.

UTILIZAÇÃO E FUNCIONAMENTO DAS CÂMARAS DE FISSÃO

Os fragmentos de fissão, originados no depósito de U-235, apresentam um intervalo de energia que varia de 0 à aproximadamente 110MeV, devido ao intervalo de energia dos fragmentos de fissão emitidos (de 40 à 110MeV) e também à perda de energia dos mesmos por auto absorção no depósito.

Estes fragmentos de fissão, com alta energia e carga, ionizam o gás em seu caminho. Sob o efeito do campo elétrico, gerado pela polarização aplicada aos eletrodos da câmara, os elétrons e íons migram para os eletrodos produzindo uma carga. Esta, no circuito externo de medida, produz um pulso de corrente ou tensão cuja amplitude depende da carga produzida.

O pulso de corrente, devido à magnitude da carga produzida, pode ser utilizado de várias maneiras para a medida de fluxo de nêutrons caracterizando, portanto, o funcionamento da câmara.

No funcionamento em pulsos, os pulsos de corrente ou tensão são registrados como eventos discretos e contados; e esta constitui a forma mais sensível. Este método de funcionamento é utilizado se o intervalo de tempo entre dois pulsos consecutivos

é longo comparado com a constante de tempo do circuito de medida. Cada pulso resultante de uma fissão é tratado por um sistema eletrônico que compreende: um amplificador de corrente ou tensão, um discriminador de amplitude e um escalímetro. Esta configuração permite uma boa discriminação entre os pulsos devido à nêutrons e os devido às radiações parasitas (alfa, beta e gama) com uma grande dinâmica de medida. O limite superior da taxa de contagem é fixado pela largura dos pulsos e pela velocidade de resposta do sistema; e o limite inferior depende da precisão estatística admissível. A utilização de um amplificador de corrente permite conservar a forma do pulso. Pode-se utilizar também o amplificador em carga. Nesse caso, a amplitude do sinal de saída é proporcional à carga residual sobre o anodo; e a maior impedância de entrada impõe o uso de um pré-amplificador de carga à saída do detector. Este modo de funcionamento limita a taxa de contagem em mais ou menos $1E+05c/s$, pela constante de tempo do circuito. As diversas câmaras de fissão operando em pulsos, podem ser utilizadas na faixa de 1 a $1E+10n/cm^2.s$, possuindo cada uma delas uma dinâmica de 5 a 6 décadas.

Quando as taxas de contagens são altas, utiliza-se o modo de funcionamento em corrente, ou em flutuações de corrente.

No funcionamento em corrente, mede-se a corrente média gerada pela câmara. Essa corrente é a soma da corrente útil devido aos fragmentos de fissão e às correntes parasitas devido à: alfa do urânio (naturalmente radioativo), beta dos produtos de fissão e reações secundárias, gama dos produtos de fissão e do conjunto do reator e às fugas elétricas dos isolantes. O limite inferior, neste modo de funcionamento, é imposto pelas partículas alfa do urânio; e o limite superior é dado pela perda de linearidade devido à uma densidade de carga muito grande. Para se obter uma boa linearidade sobre um grande alcance de medida, é necessário que a distância entre os eletrodos e a pressão do gás sejam pequenos. Isto impõe estruturas de pequenas dimensões e portanto de baixa sensibilidade.

No funcionamento em flutuações de corrente, quando as altas taxas de contagem produzem o empilhamento de pulsos e estes superpostos geram uma corrente flutuante, analisa-se as flutuações de corrente geradas pela câmara (Teorema de Campbell) no sistema eletrônico. O fluxo de nêutrons é, portanto, determinado pela medida da amplitude de flutuação da corrente. Para obter flutuações de grande amplitude (facilitando a discriminação de corrente útil e corrente parasita) é necessário que a carga gerada na câmara seja a maior possível e portanto a pressão do gás deve ser grande; isto contraria a boa linearidade no funcionamento em corrente.

Para se obter uma dinâmica de utilização máxima com um mesmo detector, as câmaras de fissão podem ser utilizadas também em funcionamento misto. Para os níveis de baixos fluxos de nêutrons, utilizam-se em pulsos; e para os níveis de fluxo maiores utilizam-se em corrente ou em flutuações de corrente, com ou sem comutação de um modo à outro de funcionamento a partir de um

certo limiar.

As câmaras de fissão, de acordo com as condições ambientais de utilização, podem ser equipadas sem cabo integrado, com cabo integrado à isolamento mineral e com duas saídas elétricas.

MATERIAL ESTRUTURAL

As câmaras de fissão são construídas com materiais de baixa seção de choque à nêutrons, cujas atividades induzidas são de meia vida curta e que não se deterioresem sob irradiação gama ou neutrônica. Usamos, portanto, na sua construção o alumínio 1050 - ABNT, como isoladores entre os eletrodos, a alumina de altíssima pureza e os conectores cerâmicos de alumina/Kovar.

ELEMENTO FÍSSIL E DEPOSIÇÃO

Para a detecção de fluxo de nêutrons é necessária a presença de um elemento físsil na câmara de fissão.

Os elementos físseis à nêutrons rápidos são: U-238 (sob a forma de urânio empobrecido, contendo 400ppm de U-235); Np-237 e Th-232; os elementos físseis à nêutrons rápidos dopados com uma pequena quantidade de elementos físseis à nêutrons térmicos são: urânio natural (que é o U-238 com 0,71% de U-235), U-238 com 1% de U-233, Np-237 com 0,5% de Pu-239, U-238 com 1% de Pu-239; e os elementos físseis à nêutrons térmicos são: U-235 (sob a forma de urânio enriquecido à 93% em U-235), U-233 e Pu-239.

As seções de choque de fissão dos elementos físseis à nêutrons térmicos são da mesma ordem de grandeza, mas o U-233 emite mais ou menos 100 vezes mais partículas alfa que o U-235 e o Pu-239 aproximadamente 1000 vezes mais partículas alfa que o U-235. Como a radiação alfa do material físsil é prejudicial ao bom funcionamento da câmara, o elemento físsil escolhido para a construção da câmara de fissão foi o U-235.

Como nenhum composto gasoso conhecido de elemento físsil é adequado para os fins de coleta de elétrons, este elemento físsil é introduzido na câmara como um depósito sólido. Este deve ser de boa qualidade e de espessura conhecida e para isto requer técnicas especiais considerando que o depósito sensível é um elemento fundamental na qualidade das câmaras de fissão.

O Urânio é depositado nas paredes do eletrodo da câmara na forma de U3O8, por ser a mais estável, sendo enriquecido à 93,15% em U-235. Para esta deposição, o eletrodo é submetido à um tratamento mecânico e químico. Após, procede-se a deposição molecular do nitrato de urânio e posteriormente sua decomposição térmica à U3O8. Esta técnica foi convenientemente estudada em virtude das exigências da qualidade do depósito no catodo de

alumínio em relação à sua aderência e homogeneidade.

GASES DE ENCHIMENTO

O bom funcionamento de uma câmara à pulsos eletrônicos está estreitamente ligado à natureza do gás de enchimento.

A escolha do gás de enchimento de uma câmara de fissão é o resultado do compromisso entre diversas características como: o baixo coeficiente de ligação de elétrons pelas moléculas do gás, a grande mobilidade de elétrons, o baixo potencial de ionização e o poder de freamento suficiente para as partículas ionizantes.

Os gases hidrogênio, hélio, argônio e nitrogênio possuem as características mencionadas, sendo que o argônio possui um dos mais baixos potenciais de ionização e portanto, é em geral utilizado.

Utilizando apenas o argônio, este deve ser espectroscopicamente puro. Embora muito estável à temperatura, sua velocidade de coleta de elétrons é baixa (tempo de coleta de 200 a 350ns). Estas são conhecidas como câmaras lentas. Na prática, adiciona-se uma baixa porcentagem de gás carbônico, ou de nitrogênio, ou de metano. A adição desses gases ao Argônio implica na diminuição da energia média de agitação dos elétrons, aumento da velocidade de trânsito dos elétrons, diminuindo a largura de pulso e o seu tempo de subida o que é importante para evitar o empilhamento de pulso e melhora dos tempos de coleta de elétrons. No caso particular da adição de 3 a 4% de nitrogênio, a câmara torna-se insensível à presença de uma quantidade de oxigênio inferior à 0,5%, e o tempo de coleta de elétrons é de 20 a 80ns. Estas são conhecidas como câmaras rápidas. Este tempo de coleta de elétrons depende também da distância entre os eletrodos.

A presença do gás nitrogênio permite que se utilize o argônio comercial, denominado de Argônio UP, que contém 1ppm de oxigênio e 3ppm de água.

Antes do enchimento da câmara pela mistura gasosa, esta deve ser evacuada entre $1,33E-04$ mbar a $1,33E-06$ mbar para que seja desgaseificada e assim evitar qualquer contaminação do gás de enchimento pelos gases ocluídos nas paredes. Esta evacuação deve ser feita por um tempo longo e a câmara deve ser aquecida à temperatura superior à do funcionamento previsto.

As várias misturas gasosas citadas apresentam curvas de discriminação (devido ao ruído de fundo da aparelhagem e à radiação alfa natural do material físsil contido na câmara) semelhantes. Mas, no caso da mistura gasosa: argônio e nitrogênio, a curva de saturação (variação da taxa de contagem em função da alta tensão aplicada à câmara) indica que a saturação é obtida mais rapidamente em relação às outras misturas gasosas;

além do que já se constatou maior estabilidade das características das câmaras de fissão com argônio e 3% a 4% de nitrogênio. Portanto optou-se por esta mistura gasosa.

O funcionamento de uma câmara de fissão é função também do espaço entre os eletrodos e da pressão do gás de enchimento.

É possível obter-se uma boa discriminação entre os pulsos devido aos produtos de fissão e os devido as partículas emitidas pelo material físsil, pois uma vez fixados a forma da câmara, natureza do gás e pressão, a discriminação entre os dois grupos de produtos de fissão (leves e pesados) e as partículas alfa é função da distância entre os eletrodos que deve ser inferior ao percurso máximo das partículas alfa. Este percurso é inversamente proporcional à pressão do gás.

Em uma câmara de fissão, o produto da distância (em mm) entre os eletrodos pela pressão (em mbar) do gás na câmara é aproximadamente constante. Este valor, quando a câmara é cheia com argônio ou com uma das misturas gasosas já citadas, é da ordem de 5 a 6mm.mbar.

SENSIBILIDADE DAS CÂMARAS DE FISSÃO

A sensibilidade das câmaras de fissão é limitada, em virtude da seção de choque relativamente baixa do U-235 (580b para nêutrons térmicos). Seu valor constitui no compromisso ótimo entre o volume e a espessura do depósito físsil, a pressão do gás e a distância entre os eletrodos.

Como há consumo do material físsil, a vida útil desse detector será limitada ao longo do tempo considerando a perda da sensibilidade admissível (10% da sensibilidade para um fluxo integrado da ordem de $1E+20n/cm^2$).

PROJETO E CONSTRUÇÃO

Em vista de todas as considerações anteriormente citadas, a câmara de fissão desenvolvida foi projetada como mostra a figura 1. É constituída externamente por cilindro de alumínio (carcaça) com diâmetro externo de 76,2mm. As extremidades possuem tampas de alumínio sendo que a superior contém o tubo de enchimento e os conectores elétricos de alumina/Kovar. O comprimento total do detector atinge 403mm.

Internamente está constituído por dois eletrodos cilíndricos concêntricos.

O cilindro interno em alumínio, possui diâmetro externo de 50,8mm e comprimento de 253mm, constitui o eletrodo de sinal ou anodo.

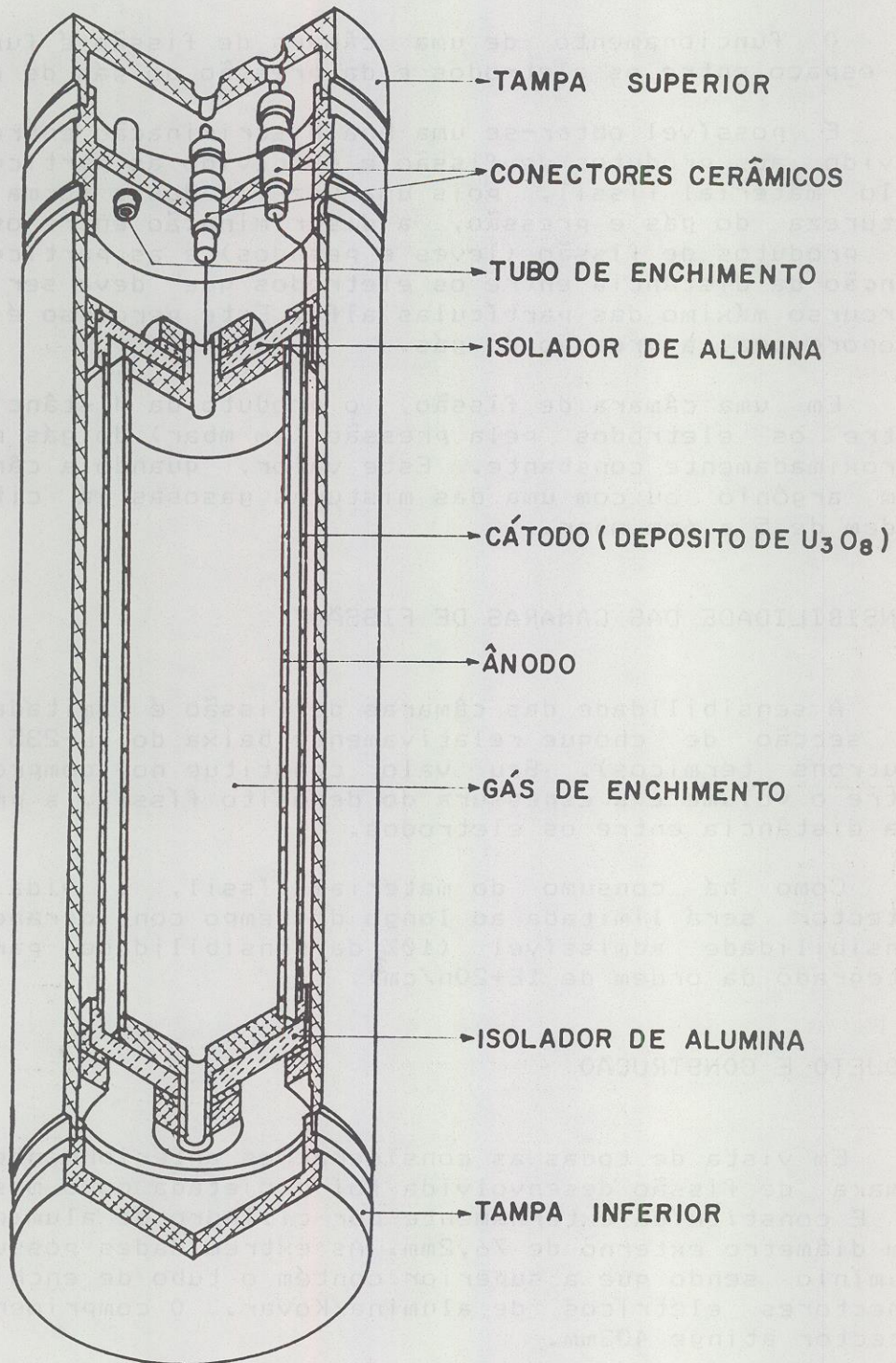


FIGURA 1. DESENHO ESQUEMÁTICO DA CÂMARA DE FISSÃO
DESENVOLVIDA

O cilindro externo em alumínio, de diâmetro interno de 57,16mm e comprimento de 243mm, constitui o eletrodo de tensão ou catodo. Sua superfície interna (área de 436,36cm²) é recoberta por U308 enriquecido à 93,15% de U-235, sendo sua densidade superficial de 1,0mg de U-235/cm².

A distância entre o anodo e o catodo é de 3,18mm e ambos são suportados por um isolador cerâmico em alumina de elevada pureza.

A montagem deste detector foi feita em sala limpa, classe 100, com umidade e temperatura controladas, para se obter uma condição de limpeza padrão e a garantia da reprodutibilidade da resposta do detector.

Em seguida, o detector foi desgaseificado à 1E-06mbar e aquecido à 200 graus centígrados durante 48 horas e finalmente preenchido com argônio e 4% de nitrogênio a pressão de 0,17MPa.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

O detector foi submetido à testes de caracterização e funcionamento, utilizando-se a instrumentação mostrada na figura 2.

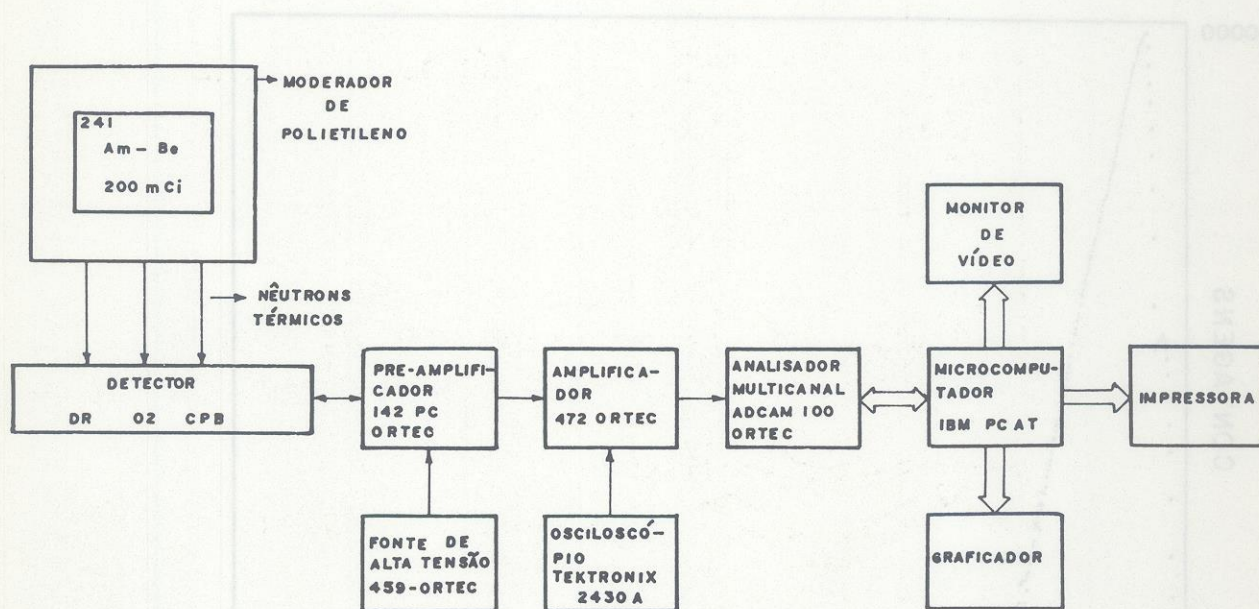


FIGURA 2-DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA NA CARACTERIZAÇÃO DA CÂMARA DE FISSÃO.

Condições de operação

Tensão de operação	: 500VDC
Como contador (em pulsos)	
Sensibilidade aos nêutrons térmicos	: 0,7cps/nv
Faixa de operação	: até 1E+06nv
Como câmara (em corrente)	
Sensibilidade aos nêutrons térmicos	: 1,4E-13A/nv
Sensibilidade gama	: 2E-11A/R/h
Faixa de operação	: 1E+03 - 1E+10nv

As figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, os espectros obtidos com o detector funcionando em pulsos com e sem nêutrons.

Em virtude das características funcionais obtidas, conclui-se que o detector desenvolvido atende os objetivos inicialmente propostos.

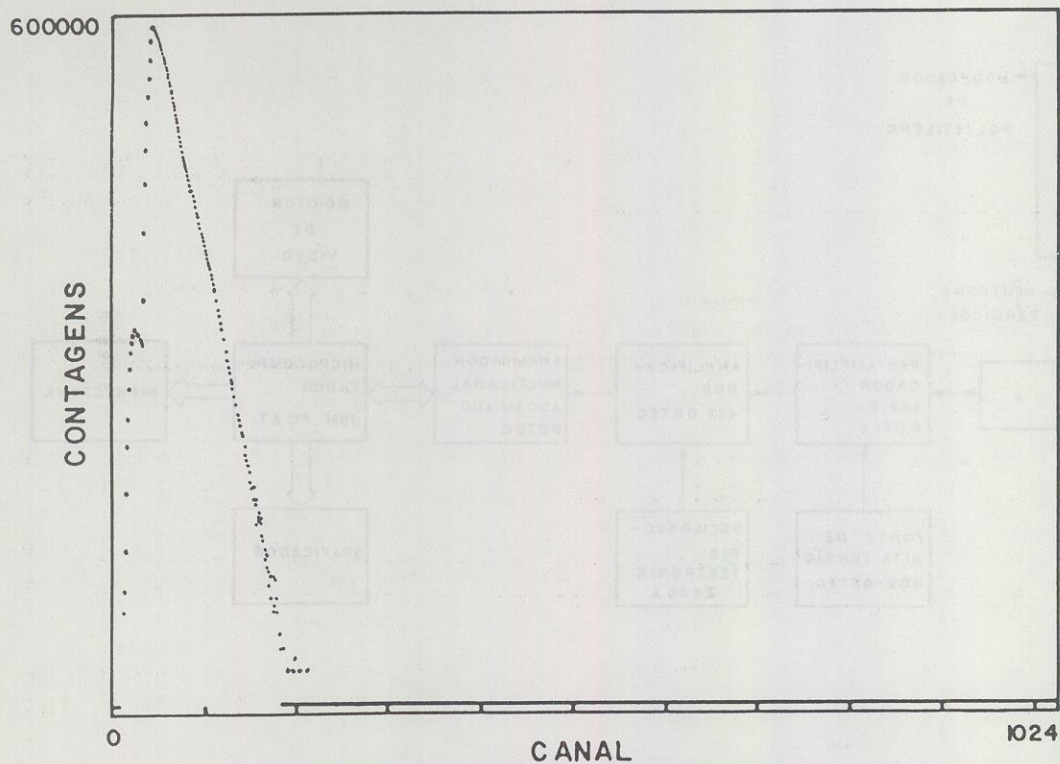


FIGURA-3. ESPECTRO DA AMPLITUDE DOS PULSOS DA CÂMARA DE FISSÃO, SEM FLUXO DE NÊUTRONS.

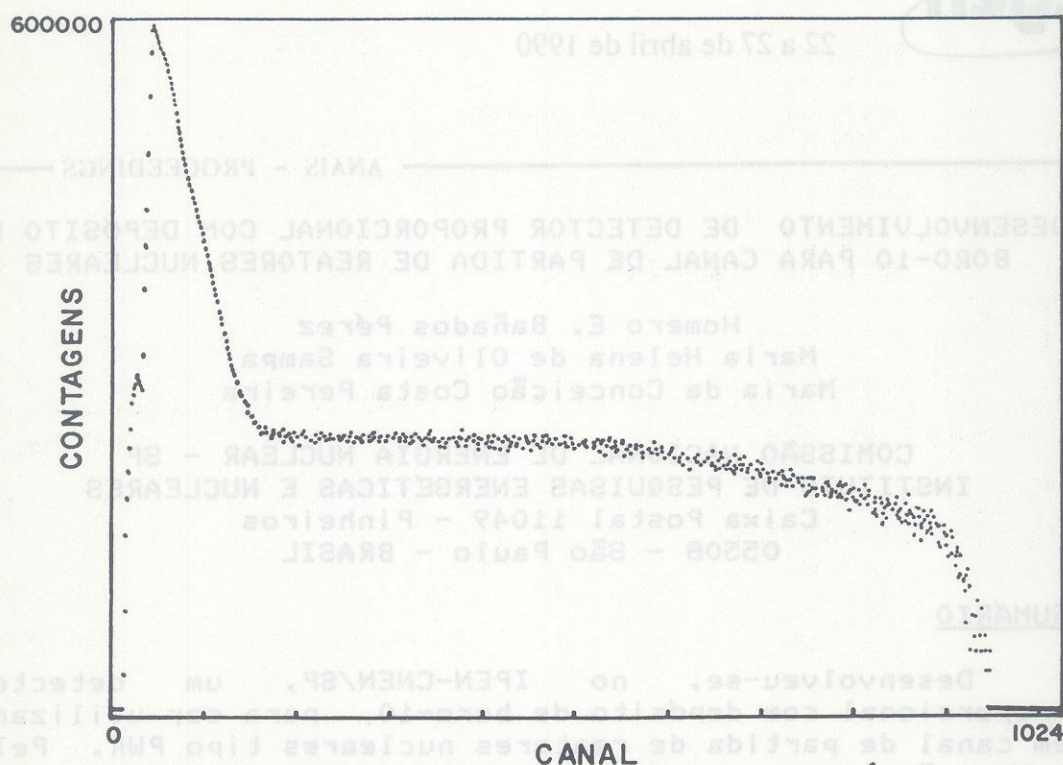


FIGURA-4. ESPECTRO DA AMPLITUDE DOS PULSOS DA CÂMARA DE FISSÃO, COM FLUXO DE NÊUTRONS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ROSSI, BRUNO B.; STAUB, HANS H. - Ionization Chambers and Counters, Experimental Techniques - McGraw Hill Book Company, Inc. 1949 - cap.9.
2. CONSTANS, H.; COVILLE, P.; GUERRE, J. - Développement industriel des détecteurs neutroniques, chambres à fission, collectrons, chambres d'ionisation. In: L' Onde Électrique, 55 (8): 449-456, Oct.1975.
3. SCHMIDT, K. - The application of the Campbell method to nuclear measurements. In: Kerntechnik, 14 (9) : 402 - 409, 1972.
4. DUCHÊNE, JEAN - Contribution à l'étude et à l'utilisation des Chambres d'ionisation pour le contrôle des réacteurs nucléaires. Rapport CEA-R 2373, 1965.
5. NAPOLITANO, CÉLIA M.; PEREIRA, MARIA DA C.C. - Deposição Molecular de Urânio em Eletrodos de Câmara de Fissão. In: Trabalho a ser publicado.
6. DALTRO, TEREZINHA F.L.; TOBIAS, CARMEN C. B. - Espectrometria de fragmentos de fissão em eletrodos de câmara de fissão. In: Trabalho a ser apresentado neste congresso.