

2



**NUCLEBRÁS**  
Empresas Nucleares Brasileiras SA

**LEVANTAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO DE  
NÉUTRONS TÉRMICOS E RÁPIDOS NO NÚCLEO  
DO REATOR IPR-R1**

Régia R. R. Guimarães  
Carlos A. B. Santoro

NUCLEBRÁS/CDTN-468/84

Janeiro 1984

**CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR**

**EMPRESAS NUCLEARES BRASILEIRAS S.A. - NUCLEBRÁS  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE REATORES**

**LEVANTAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO DE NÊUTRONS  
TÉRMICOS E RÁPIDOS NO NÚCLEO DO REATOR IPR-R1**

**Régia Ruth Ramirez Guimarães  
Carlos Alberto Barbosa Santoro**

**Trabalho apresentado no 4º Encontro Nacional de  
Física de Reatores (IV ENFIR), Itaipava, RJ.  
03-05 de novembro, 1983**

**NUCLEBRÁS/CDTN-468/84  
Belo Horizonte-BRASIL  
20 de janeiro de 1984**

**LEVANTAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DO FLUXO DE NÉUTRONS  
TÉRMICOS E RÁPIDOS NO NÚCLEO DO REATOR IPR-R1**

**Sumário**

	<u>P.</u>
<b>Sumário</b>	<b>1</b>
<b>Sinopse</b>	<b>2</b>
<b>1. Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2. Procedimento Experimental</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Objeto e locais das medidas</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Detetores utilizados</b>	<b>7</b>
<b>3. Conclusão</b>	<b>11</b>
<b>4. Bibliografia</b>	<b>15</b>

## SINOPSE

O trabalho tem por objetivo estabelecer um método que permita obter a distribuição do fluxo de nêutrons dentro do núcleo, fornecendo subsídios para a análise do projeto de aumento de potência do reator.

A técnica experimental utilizada é a de medidas por ativação, com irradiações de eletrodos de aço inox de 700 mm de comprimento, colocados em varetas de acrílico. Estes eletrodos fornecem informações simultâneas, através de reações de captura e limiar, sobre o fluxo de nêutrons térmicos e rápidos. No processo de detecção e contagem dos produtos de ativação, utilizam-se um detetor de Ge(Li) de alta resolução e um sistema mecânico de varredura projetado e construído no CDTN.

De aplicação relativamente simples, o método apresenta como grande vantagem a possibilidade de substituição de materiais importados e de alta pureza por um de fácil obtenção e que ainda fornece informações simultâneas sobre os fluxos térmico e rápido.



## 1. Introdução

Para a utilização correta de um reator como instrumento de pesquisa e de produção de radioisótopos é indispensável o conhecimento do fluxo de nêutrons em diversos locais e nos dispositivos para irradiação de materiais.

No reator TRIGA do CDTN, IPR-R1, devido à dificuldade de acesso ao núcleo, foram realizadas medidas de fluxo e espectro de nêutrons somente nos locais normais de irradiação e em algumas posições externas ao núcleo [1,2]. Mas, quando de alterações no poço do reator, foram feitos alguns orifícios na placa superior do núcleo, permitindo-se então o acesso entre os elementos combustíveis.

O presente trabalho tem por objetivo estabelecer um método que permita obter a distribuição do fluxo de nêutrons dentro do núcleo do reator IPR-R1, fornecendo também subsídios para a análise do projeto de aumento de potência do mesmo.

O método escolhido para o desenvolvimento deste trabalho foi o da ativação de detetores, que consiste essencialmente em se irradiar, no local de medida, certos materiais (detetores) contendo núclídeos que sofrem reações de absorção com nêutrons, dando origem a núclídeos radioativos. A atividade induzida no detetor é posteriormente determinada por contagem e correlacionada com o fluxo de nêutrons.

Quanto à escolha do detetor, teve-se como objetivo encontrar um material que, além da facilidade de manuseio, fornecesse informações simultâneas, através de reações de captura e de limiar, sobre o fluxo de nêutrons térmicos e rápidos.

É oportuno assinalar que um trabalho de tal natureza não havia sido ainda realizado no reator TRIGA, após as modificações feitas em 1976, com o objetivo de aumentar sua potência (de 30 para 100 e para 250 kW). O último estudo mais detalhado do assunto foi feito por SANTORO [1] em 1972/73 e determinou o espectro de nêutrons intermediários e rápidos no tubo central do reator.

O levantamento de um perfil de fluxo não requer, a rigor, medidas absolutas de fluxo nos diversos pontos. Assim, qualquer grande-

za proporcional ao fluxo pode ser usada neste levantamento, como por exemplo a área sob os picos de absorção total dos radionuclídeos.

## 2. Procedimento Experimental

### 2.1 Objeto e locais das medidas

As medidas de distribuição de fluxo referentes a este trabalho foram efetuadas dentro do núcleo do reator IPR-R1, entre seus elementos combustíveis.

Uma descrição detalhada deste reator é encontrada em diversas publicações, como por exemplo em [3], sendo aqui resumidos apenas os aspectos mais relevantes necessários à caracterização dos locais de medida.

O IPR-R1 é um reator de pesquisa do tipo TRIGA MARK I, utilizado atualmente no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) da NUCLEBRÁS, em Belo Horizonte, MG, para treinamento, produção de radioisótopos e análise por ativação. Projetado inicialmente para funcionamento contínuo a 30 kW ou de modo intermitente a 100 kW de potência máxima, após modificações no sistema de refrigeração passou a operar a 100 kW de potência nominal. Outras modificações estão previstas no projeto de aumento da potência nominal para 250 kW e entre os objetivos do presente trabalho está o de fornecer subsídios para este projeto.

Os elementos combustíveis contêm uma liga de urânio, enriquecido a 20% de U-235, e hidreto de zircônio, como moderador principal; esta parte ativa tem 355,6 mm de altura e diâmetro de 36,1 mm. Targos de grafita de 101,6 mm, colocados acima e abaixo da barra combustível-moderador, servem como refletor de topo de fundo do reator. Dois discos de veneno queimável (óxido de samário) são incluídos entre o combustível e a grafita, para minimizar as mudanças de reatividade devidas à acumulação de produtos de fissão e à queima do combustível. O óxido de samário é misturado a alumínio, formando discos de aproximadamente 1,3 mm de espessura. O elemento combustível, que é revestido por tubos de alumínio, apresenta um comprimento total de 722,4 mm e diâmetro externo de 37,3 mm.

O núcleo atual comporta 58 elementos combustíveis cilíndricos, dispostos em anéis concêntricos, num reticulado hexagonal centrado. A parte ativa do núcleo é envolvida por um anel de elementos falsos de grafita e um anel contínuo também de grafita, constituindo o refletor radial.

Os elementos combustíveis são posicionados e mantidos no núcleo por duas placas de alumínio, fixadas à estrutura do refletor. A placa inferior tem 19,1 mm de espessura e suporta os elementos combustíveis. A placa superior apresenta orifícios de aproximadamente 38 mm e mantém o espaçamento e a verticalidade dos elementos combustíveis no núcleo do reator. Quando das modificações no sistema de refrigeração, aproveitou-se a oportunidade para fazer 32 orifícios com 8 mm de diâmetro na placa superior, de modo a permitir o acesso ao núcleo do reator e a possibilidade de experimentos e medições entre os elementos combustíveis. A Figura 1 mostra a configuração atual do núcleo do TRIGA, desenhada na placa superior, com a localização destes orifícios.

Água leve desmineralizada funciona como refrigerante, como blindagem e como moderador adicional.

O controle do reator é efetuado pela operação de três barras absorvedoras contendo carboneto de boro.

O reator apresenta quatro dispositivos especiais para irradiação de amostras, quais sejam:

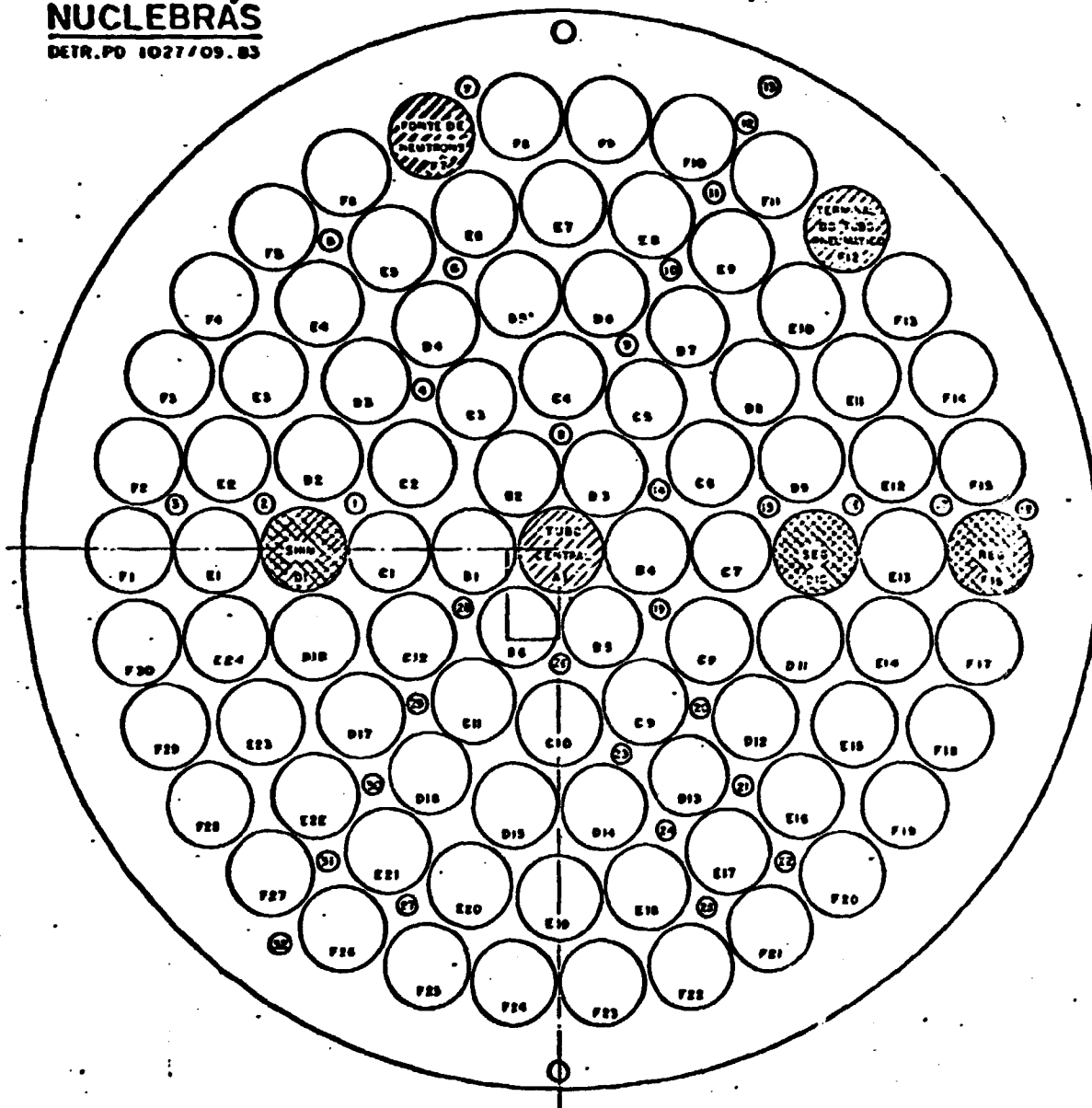
(i) Tubo Central: tubo vertical de alumínio que atravessa a região central do núcleo, permitindo irradiações de amostras na água ou dentro de um outro tubo seco sob fluxos mais elevados:






$$\phi_{th} ]_{\text{máx}} = 4,3 \times 10^{22} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ (100 kW)}$$

(ii) Sistema Pneumático 1: permite introdução e retirada rápidas de amostras para irradiação na periferia do núcleo (anel de elementos falsos de grafita):

$$\phi_{th} = 1,8 \times 10^{22} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ (100 kW)}$$

**NUCLEBRÁS**  
DETR. PD 1027/09.83



-  ELEMENTO COMBUSTÍVEL OU ELEMENTO FALSO DE GRAFITA (ANEL EXTERNO)
-  ORIFÍCIO NA PLACA SUPERIOR
-  DISPOSITIVO DE IRRADIAÇÃO
-  BARRA DE CONTROLE
-  FONTE DE NÊUTRONS

**FIGURA 1 - CONFIGURAÇÃO ATUAL DO NÚCLEO DO REATOR IPR-RI, COM A LOCALIZAÇÃO DAS POSIÇÕES DE IRRADIAÇÃO**



(iii) Mesa Giratória: alojada numa cavidade cilíndrica do refletor de grafita, comporta 40 receptáculos para irradiação de amostras, montados num suporte giratório:

$$\phi_{th} = 6,7 \times 10^{11} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ (100 kW)}$$

(iv) Sistema Pneumático 2: idêntico ao nº 1, mas situado fora do refletor de grafita:

$$\phi_{th} = 1,7 \times 10^{11} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ (100 kW)}$$



## 2.2 Detetores utilizados

A escolha dos detetores é ditada não só por suas propriedades nucleares como também por requisitos físicos e químicos (homogeneidade, estabilidade, pureza, etc.). Devem-se levar em conta também as condições de medida propostas no presente trabalho, quais sejam, ao longo e entre os elementos combustíveis, num comprimento de até 700 mm e através de orifícios com 8 mm de diâmetro na placa superior do núcleo, situado em um poço com 6 m de profundidade. Devido ao fato de se dispor de um sistema mecânico de varredura, a ser descrito no item 2.3, a forma mais apropriada para o detetor tornou-se a de vareta ou fio, devido à facilidade de manuseio e à possibilidade de se fazer um mapeamento contínuo.

Após testes em materiais de diversas formas e composições, encontrou-se um que oferece como grande vantagem a possibilidade de, numa mesma irradiação, fornecer informações simultâneas sobre os fluxos térmico e rápido.

O material é um eletrodo de aço inox, tipo SAS 4 - IG, em forma de fio ou vareta, e que, embora de procedência austríaca, pode ser facilmente encontrado no País e a um custo relativamente baixo, se comparado com os detetores comumente utilizados.

O eletrodo em forma de vareta apresenta a seguinte composição química percentual, fornecida pelo fabricante: Fe(64,9), Cr(18,84), Ni(11,35), Mo(2,20), Mn(1,60), Nb(0,53), Si(0,50), C(0,033), P(0,020), e S(0,014).

Análises realizadas em laboratórios do CDTN, utilizando métodos como a gravimetria, absorção atômica e volumetria, confirmaram as concentrações, dentro das incertezas de cada processo e indicaram ainda a presença de cobalto com 0,20%.

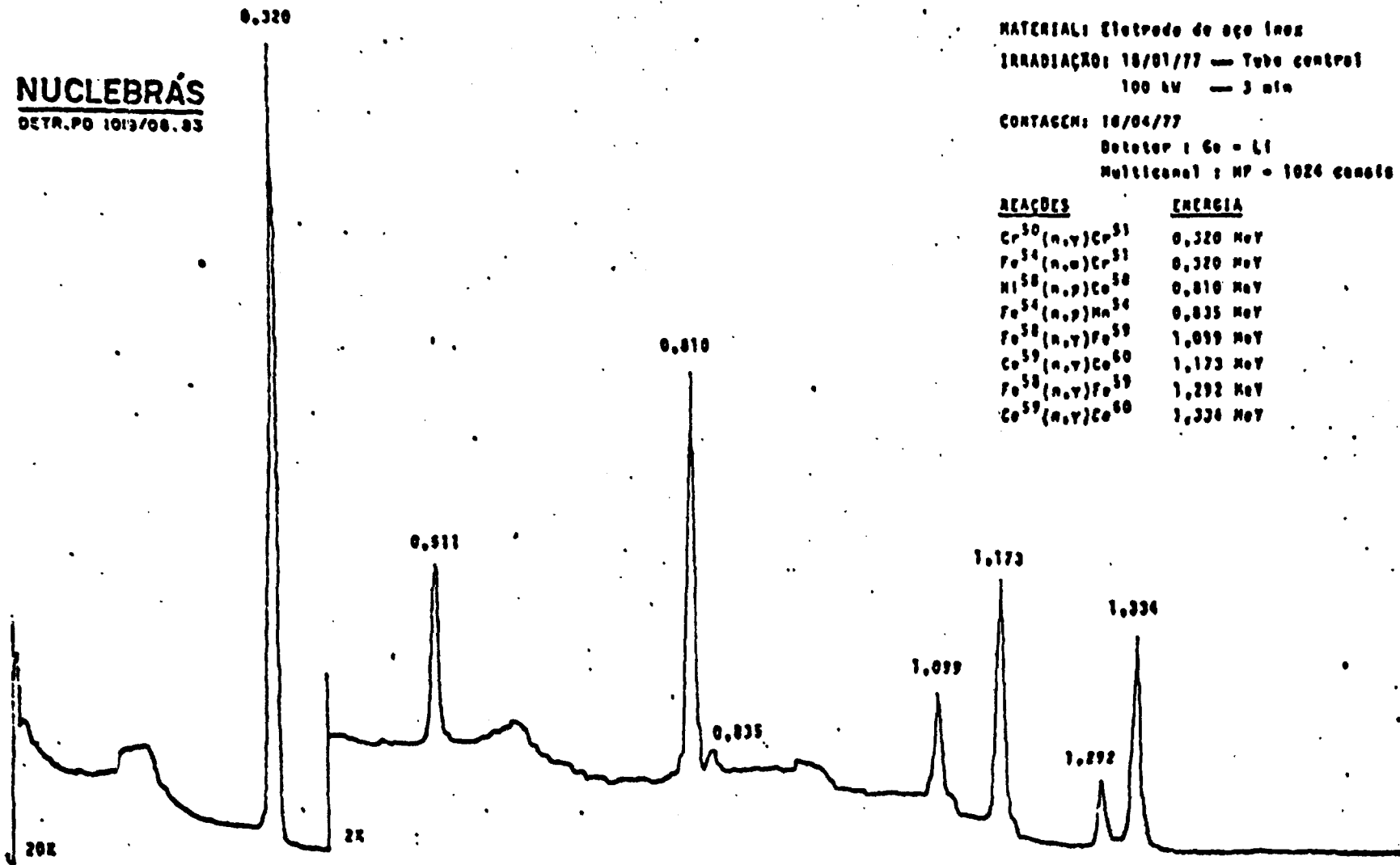
A verificação da estrutura e homogeneidade do eletrodo foi feita através de ensaios de metalografia, microdureza e dureza. Realizaram-se ensaios em cinco amostras de eletrodo, com resultados bastante satisfatórios quanto à homogeneidade e tamanho de grão e indicando valores de dureza e microdureza iguais ou superiores aos especificados pelo fabricante.

Dentre os nuclídeos presentes no eletrodo foram julgados de interesse o cromo, ferro, cobalto e níquel, sendo utilizadas as reações:  $\text{Cr}^{50} (n, \gamma) \text{Cr}^{51}$ ;  $\text{Fe}^{58} (n, \gamma) \text{Fe}^{59}$ ;  $\text{Co}^{59} (n, \gamma) \text{Co}^{60}$ ;  $\text{Ni}^{58} (n, p) \text{Co}^{58}$ . Os demais não foram considerados, ou porque apresentam baixa concentração ou porque o radionuclídeo possui meia-vida muito curta. Um espectro típico deste eletrodo é mostrado na Figura 2.

Nestas medidas foram utilizados eletrodos com 700 mm de comprimento e 1,6 mm de diâmetro, colocados dentro de varetas de acrílico, que serviram como suporte de irradiação, com o objetivo de manter a verticalidade dos eletrodos em toda a extensão do núcleo e facilitar a movimentação dos mesmos durante os experimentos. O erro de posicionamento dos suportes foi avaliado menor que 2 mm. A escolha do acrílico se deve à sua composição química, basicamente carbono e hidrogênio, não causando perturbação sensível no fluxo neutrônico, além de não sofrer ativação apreciável; sua única desvantagem é se tornar quebradiço, quando irradiado por tempo longo, a mais alta potência, o que exige cuidados no manuseio.

Como os experimentos são realizados em datas diferentes e não se podem assegurar condições idênticas para as diversas irradiações, em termos de posição das barras de controle e de leitura do nível de potência do reator, as medidas foram normalizadas através da irradiação simultânea de um detetor de ouro, em forma de disco, colocado na mesa giratória do reator, onde o fluxo já é bem conhecido.

**NUCLEBRÁS**  
DETR.PO 1013/00.83

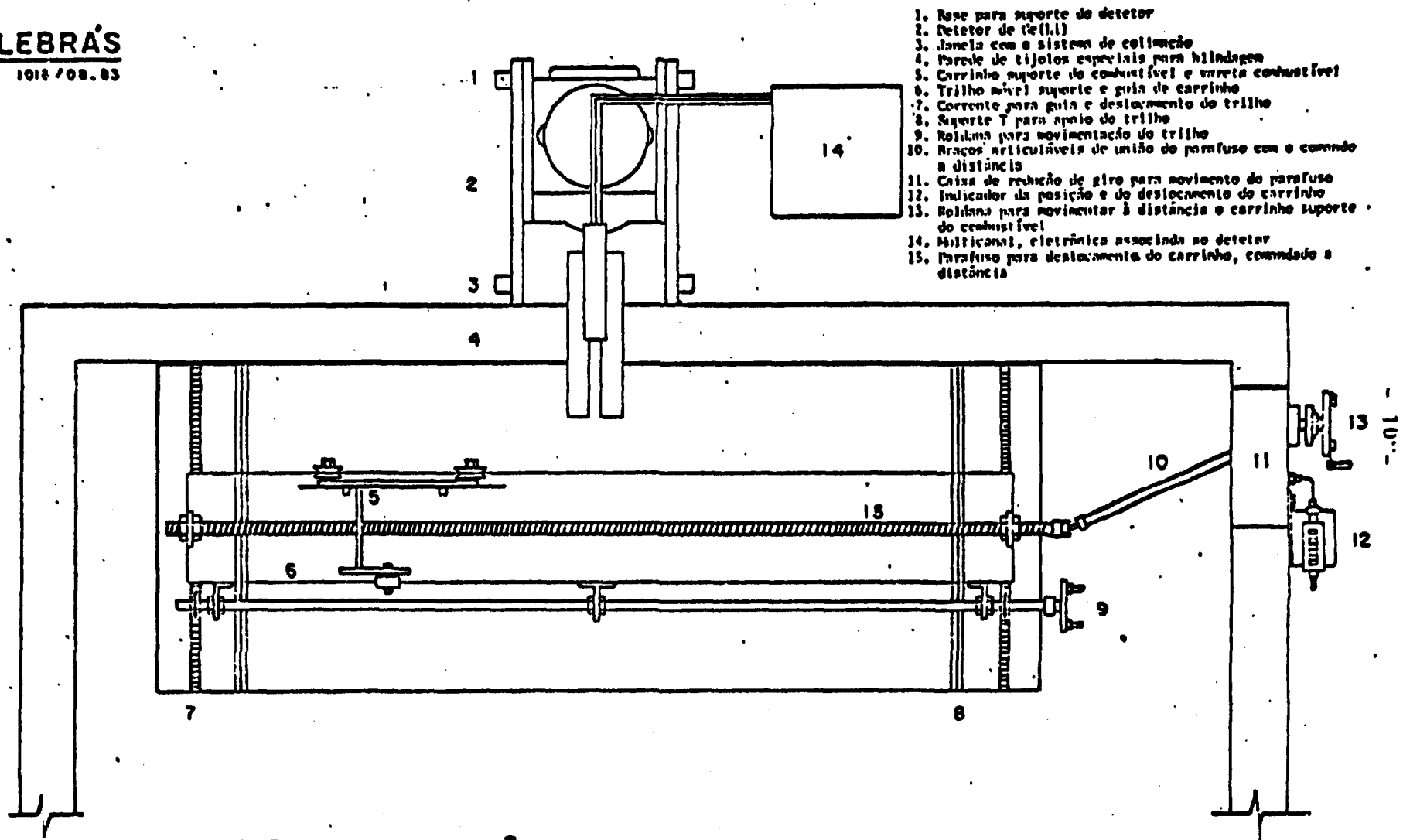


MATERIAL: Eletrodo de aço inox  
IRRADIAÇÃO: 18/01/77 — Tubo control  
100 kW — 3 min

CONTAGEM: 18/04/77  
Detetor : Ge - Li  
Multicanal : MP - 1024 canais

REAÇÕES	ENERGIA
Cr <sup>50</sup> (n,γ) Cr <sup>51</sup>	0,320 MeV
Fe <sup>54</sup> (n,α) Cr <sup>51</sup>	0,320 MeV
Ni <sup>58</sup> (n,p) Co <sup>58</sup>	0,810 MeV
Fe <sup>54</sup> (n,p) Mn <sup>54</sup>	0,835 MeV
Fe <sup>58</sup> (n,γ) Fe <sup>59</sup>	1,099 MeV
Co <sup>59</sup> (n,γ) Co <sup>60</sup>	1,173 MeV
Fe <sup>58</sup> (n,γ) Fe <sup>59</sup>	1,292 MeV
Co <sup>59</sup> (n,γ) Co <sup>60</sup>	1,334 MeV

FIGURA 2 - ESPECTRO TÍPICO DO ELETRODO DE AÇO INOX



1. Base para suporte do detector
2. Detector de  $^{252}\text{Cf}$
3. Janela com o sistema de colimação
4. Parede de tijolos especiais para blindagem
5. Carrinho suporte do combustível e vareta combustível
6. Trilho para suporte e guia de carrinho
7. Corrente para guia e deslocamento do trilho
8. Suporte T para apoio do trilho
9. Rolimã para movimentação do trilho
10. Braços articuláveis de união do parafuso com o comando a distância
11. Caixa de redução de giro para movimento do parafuso
12. Indicador da posição e do deslocamento do carrinho
13. Rolimã para movimentar à distância o carrinho suporte do combustível
14. Eletrônica, eletrônica associada ao detector
15. Parafuso para deslocamento do carrinho, comando a distância

**FIGURA 3 - SISTEMA MECÂNICO DE VARREDURA**

Cada uma das 66 medidas de espectro teve a duração de 50 minutos.

Determinando-se a área sob os picos de absorção total do  $\text{Cr}^{51}$ ,  $\text{Fe}^{59}$  e  $\text{Co}^{60}$  pelo método do trapézio, foram obtidas as distribuições axiais de fluxo térmico em cada posição de irradiação. As distribuições obtidas através do  $\text{Cr}^{51}$  são apresentadas na Figura 4. Analogamente para o  $\text{Co}^{60}$ , obtiveram-se as distribuições axiais de fluxo rápido (Figura 5).

Embora as posições de número 08 - 09 - 10 e 11 não estejam exatamente alinhadas sobre um raio, pode-se obter uma informação muito próxima da variação radial do fluxo de nêutrons, através da comparação dos resultados das medidas axiais. Na Figura 6 representa-se esta variação para fluxo térmico em cinco alturas ao longo do núcleo do reator.

Quanto ao fluxo rápido, verificou-se ser utilizável apenas a informação através da reação de níquel, pois a reação  $\text{Fe}^{54} (n,p) \text{Mn}^{54}$ , também presente, resultou em atividade relativamente baixa.

Observando as Figuras 4 e 5, constata-se a mesma forma para os fluxos térmico e rápido, respectivamente, em todas as posições pesquisadas, exceto a de nº 11 para o fluxo térmico, possivelmente por ser a mais externa, já próxima ao refletor de grafita. Na Figura 4 percebe-se nitidamente o efeito do refletor de grafita e a presença do samário como absorvedor de nêutrons térmicos.

Nas Figuras apresentadas não foi feito ajuste dos pontos a alguma expressão analítica por não se dispor ainda de modelo adequado à distribuição de fluxo do reator TRIGA, devido a suas características particulares apresentadas no item 2.1.

### 3. Conclusão

O objetivo do trabalho proposto foi satisfatoriamente alcançado, ao se estabelecer um método, de aplicação relativamente simples, que apresenta como grande vantagem a possibilidade de substituição de materiais importados de alto custo e de alta pureza por um de fácil obtenção, e que ainda fornece informações simultâneas sobre os fluxos térmico e rápido de nêutrons em um reator.

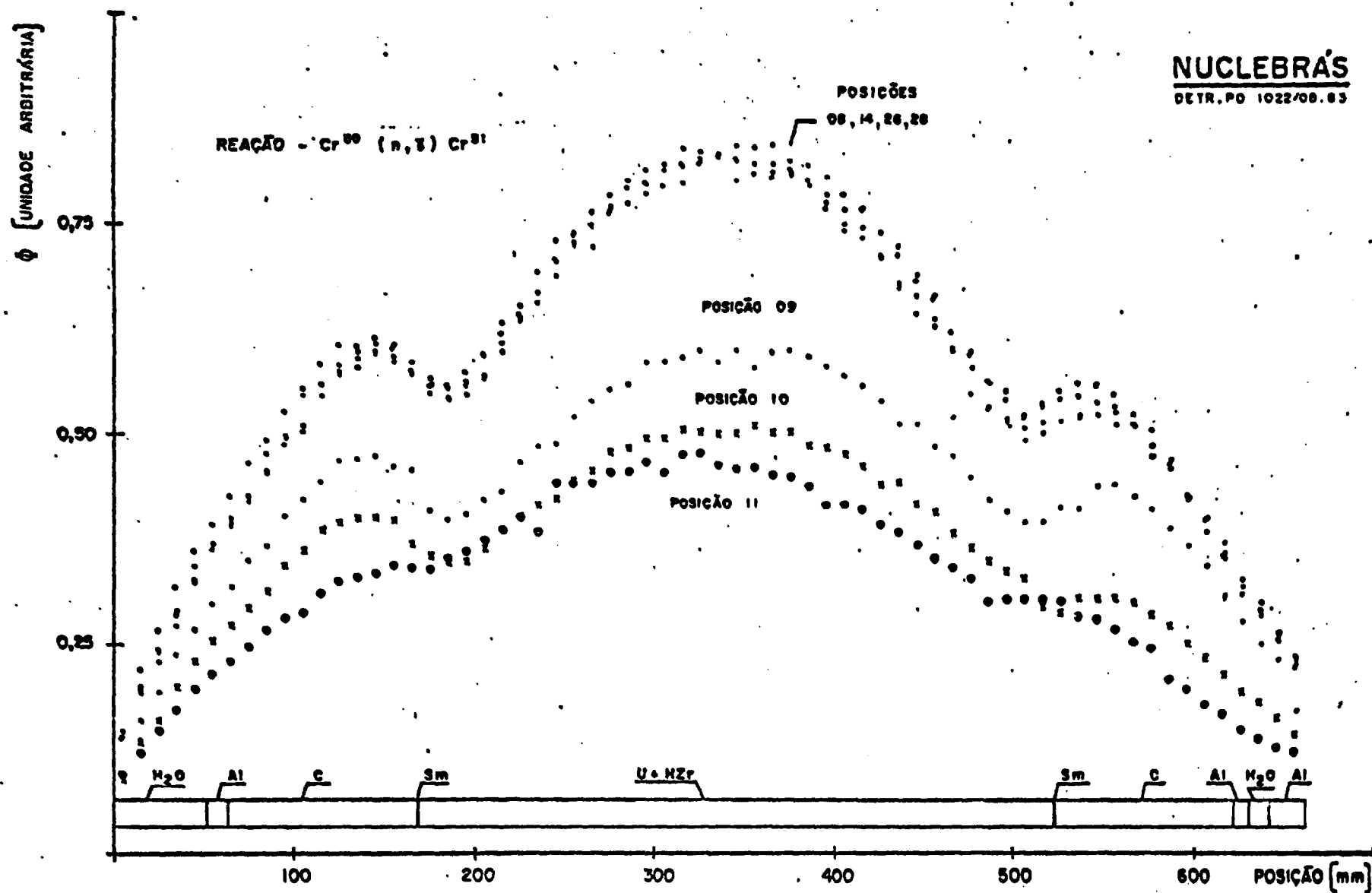


FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO AXIAL DO FLUXO DE NÊUTRONS TÉRMICOS

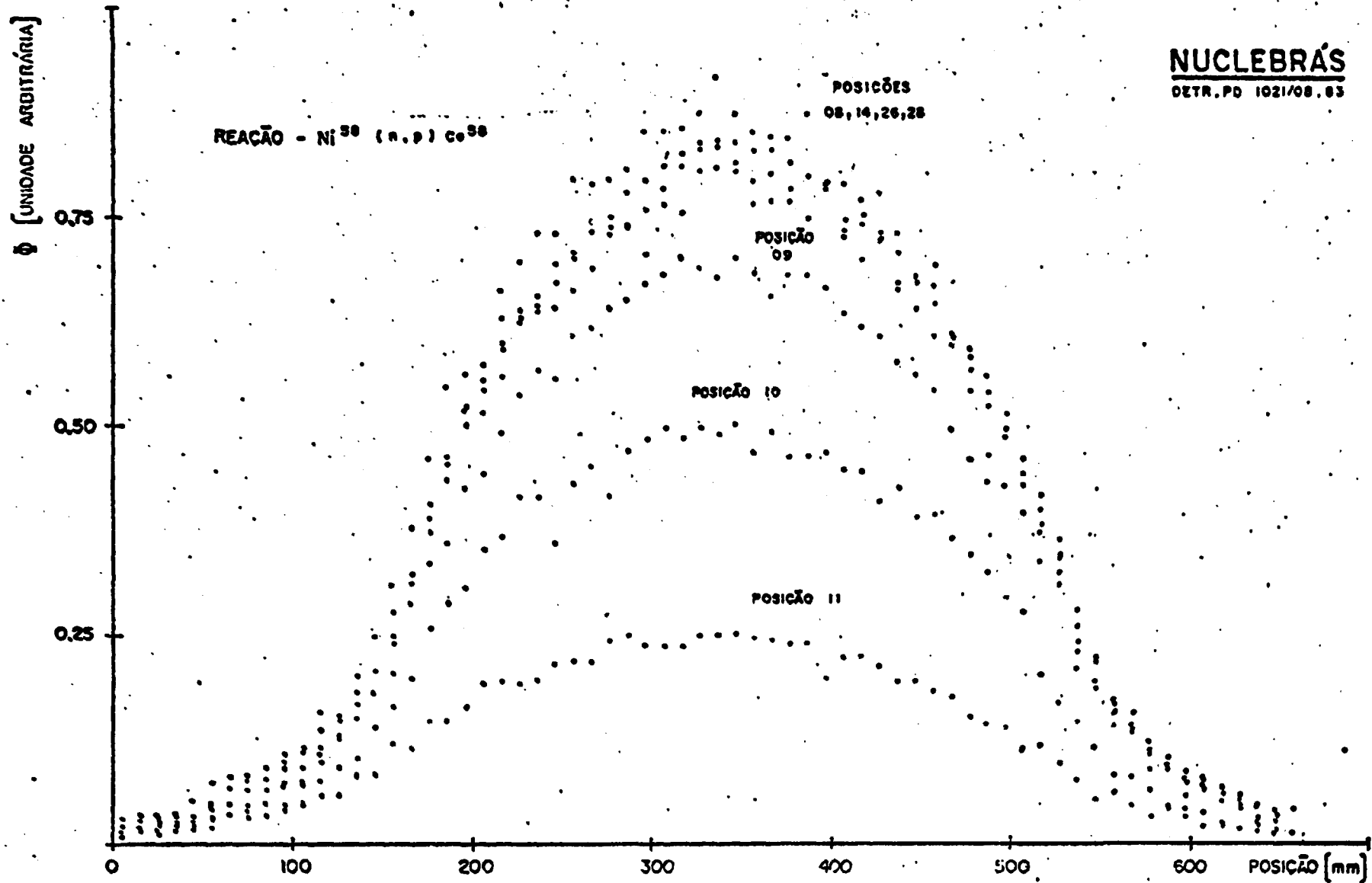
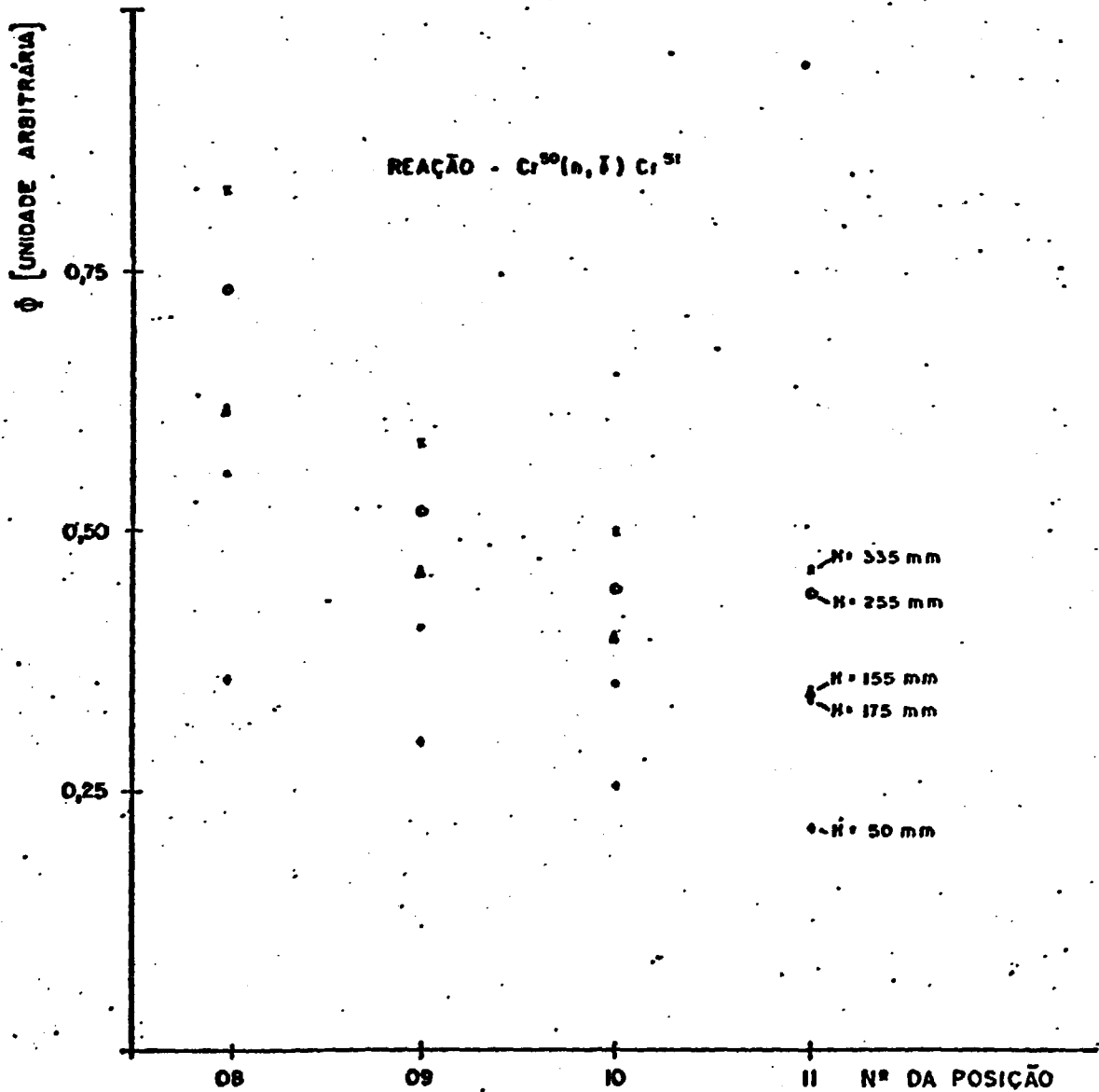


FIGURA 5 - DISTRIBUIÇÃO AXIAL DO FLUXO DE NÊUTRONS RÁPIDOS



**FIGURA 6 - DISTRIBUIÇÃO APROXIMADAMENTE RADIAL DO FLUXO DE NÊUTRONS TÉRMICOS EM CINCO ALTURAS DO NÚCLEO**



4. Bibliografia

- [1] SANTORO, C.A.B. Determinação do espectro de nêutrons no reator TRIGA pelo método de ativação. Belo Horizonte, Nuclebrás/IPR 361, 1975 (Tese de Mestrado - Curso de Ciências e Técnicas Nucleares - UFNG).
- [2] CAMPOS, M.M. Medidas de nêutrons por ativação. Belo Horizonte, Instituto de Pesquisas Radioativas, 1968.
- [3] GENERAL ATOMIC. Triga Mark I reactor description. San Diego, 1959 (GA-952).
- [4] BRANDÃO JR., F.A. Construção e testes de dispositivos para determinações experimentais de queima de combustível irradiado. (Curso de Ciências e Técnicas Nucleares - UFNG - Tese de Mestrado em fase de julgamento).