

BR 8816495

ISSN 0101-3084

**CNEN/SP**

---

**ipen** Instituto de Pesquisas  
Energéticas e Nucleares

**MAPEAMENTO DE FLUXO TÉRMICO NO REATOR IEA-R1**

**Célia Maria Tangari, João Manoel Losada Moreira e Rogério Jeréz**

**PUBLICAÇÃO IPEN 93**

**JANEIRO/1988**

**SÃO PAULO**

ISSN 0101-3084

PUBLICAÇÃO IPEN 93

JANEIRO/1986

**MAPEAMENTO DE FLUXO TÉRMICO NO REATOR IEA-R1**

**Célia Maria Tangari, João Manoel Losada Moreira e Rogério Jerez**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE REATORES**

**C.JEN/EP**

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES  
SÃO PAULO – BRASIL**

**Série PUBLICAÇÃO IPEN**

**INIS Categories and Descriptors**

**E38.00**

**IEAR-1 REACTOR  
NEUTRON FLUX  
RESEARCH REACTORS**

# MAPEAMENTO DE FLUXO TÉRMICO NO REATOR IEA-R1

Célia Maria Tangari, João Manoel Losada Moreira e Rogério Jerez

## RESUMO

O mapeamento da distribuição de fluxo de nêutrons de um reator de pesquisa é muito importante pois além de definir a distribuição de potência gerada, permite também a realização de experimentos em melhores condições e fornecer subsídios para a validação de métodos de cálculos teóricos. Nesse sentido, realizou-se o mapeamento do fluxo térmico do reator IEA-R1 em vários elementos combustíveis com uma câmara de fissão miniatura WL-23292. Para a condução do mapeamento construiu-se um sistema de guia que permite a introdução da câmara miniatura entre as placas dos elementos combustíveis em 2 posições diferentes varrendo 26 posições ao longo do elemento. Com esse sistema, o mapeamento de fluxo térmico no reator IEA-R1 pode ser feito constantemente de uma maneira rápida e eficiente. Os resultados obtidos mostram os efeitos das barras de controle e dos refletores na distribuição de fluxo térmico evidenciando as características do reator IEA-R1. Alguns problemas encontrados durante o mapeamento são levantados e possíveis soluções são propostas.

## MEASUREMENT OF THE THERMAL FLUX DISTRIBUTION IN THE IEA-R1 REACTOR

### ABSTRACT

The knowledge of the neutron flux distribution in research reactors is important because it gives the power distribution over the core, and it provides better conditions to perform experiments and sample irradiations. The measured neutron flux distribution can also be of interest as a means of comparison for the calculational methods of reactor analysis currently in use at this institute. The thermal neutron flux distribution of the IEA-R1 reactor has been measured with the miniature fission chamber WL-23292. For carrying out the measurements, it was built a guide system that permit the insertion of the mini-chamber in between the fuel plates of the fuel elements. It can be introduced in two different positions of a fuel element, and in each it spans 26 axial positions. With this guide system the thermal neutron flux distribution of the IEA-R1 nuclear reactor can be obtained in a fast and efficient manner. The measured flux distribution shows clearly the effects of control rods and reflectors in the IEA-R1 reactor. The difficulties encountered during the measurements are mentioned with detail as well as the procedures adopted to overcome them.

### INTRODUÇÃO

Um aspecto de crucial importância no projeto de um reator é a distribuição dos nêutrons em função da posição ( $r$ ) e energia ( $E$ ). O conhecimento dessa distribuição é essencial para se programar experiências e para a utilização do reator.

As distribuições de fluxo são funções da posição no núcleo e da energia do nêutron, já que nêutrons de todas as energias estão presentes no reator. Essas distribuições são funções complexas da geometria do núcleo e dos materiais que o compõe. Assim, só experimentalmente pode-se determinar a distribuição real do fluxo. A precisão de cálculos neutrônicos também pode ser verificada com a direta comparação entre distribuições calculadas com códigos de difusão e distribuições medidas.

Duas técnicas são normalmente usadas para o mapeamento do fluxo neutrônico: a ativação de folhas ou fios de Au, ou In, ou outro material<sup>(3)</sup>, e com detectores miniatura<sup>(2)</sup>. Ambas as técnicas permitem medir o fluxo neutrônico nos pequenos canais existentes nos elementos combustíveis. Nesse trabalho o fluxo térmico do reator IEA-R1<sup>(4)</sup> foi mapeado usando uma câmara de fissão miniatura como detector. Para se introduzir o detector miniatura entre as placas dos elementos combustíveis um tubo guia especial foi construído. Vários elementos combustíveis foram mapeados num espaço relativamente curto de tempo (2 dias), indicando a funcionalidade do sistema de mapeamento de fluxo projetado. Os perfis de fluxo térmico levantados com a câmara de fissão miniatura são apresentados nesse trabalho juntamente com comentários sobre as dificuldades encontradas durante as medidas.

Na seção 2 descrevemos sucintamente os tipos de detectores usados geralmente para mapeamento de fluxo em reatores. Na seção 3 apresentamos o sistema de medidas e o procedimento para se fazer essas medidas. A seguir na seção 4, os resultados na forma de distribuições axiais do fluxo térmico são apresentados juntamente com uma análise desses resultados. Finalmente na seção 5 terminamos com as conclusões e recomendações para mapeamentos de fluxo.

## TIPOS DE DETETORES MAIS USADOS PARA MAPEAMENTO DE FLUXOS

Devido ao tamanho dos canais onde em geral são localizados detectores no núcleo (in-core)-0,5 a 2 cm-muita ênfase é colocada na miniaturização e compactação desses detectores. Tais detectores tanto podem ser deixados numa posição fixa quanto ser movimentados através do núcleo, possibilitando um mapeamento tri-dimensional do núcleo. Existem dois tipos de detectores miniatura bastante usados em reatores:

- as câmaras de fissão miniaturizadas<sup>(2)</sup> podem ser fabricadas para uso in-core em qualquer intervalo de potência normalmente encontrado em operação de reatores. As paredes da câmara são forradas com urânio altamente enriquecido para aumentar a corrente de ionização. Essas pequenas câmaras de íons tem, em geral, paredes e eletrodos de aço inoxidável e a voltagem de operação varia de 50 a 300 volts. O gás normalmente utilizado é o Argônio sob uma pressão de várias atmosferas. A pressão elevada assegura que o alcance dos fragmentos de fissão dentro do gás não exceda as pequenas dimensões da câmara. Um problema sério para a operação a longo termo dessas câmaras é a queima do material sensível,  $^{235}\text{U}$ , aos nêutrons. Na Figura 1 é mostrada, esquematicamente, uma câmara de fissão miniatura.
- os detectores de nêutrons auto-energizados<sup>(7)</sup> - (DNAE) ou (SPND) - estão ganhando popularidade para uso in-core. O princípio de operação do tal detector é simples: o nêutron incidente é convertido em elétrons energéticos no material emissor que penetram no isolante sendo parados pelo coletor. A deficiência de elétrons no emissor resulta numa carga positiva no condutor central do cabo coaxial conectado ao detector. Uma corrente é gerada quando o coletor e emissor são conectados e esta corrente é proporcional à taxa na qual nêutrons são capturados no detector. Como essa corrente é medida diretamente, não é necessário aplicar uma voltagem externa ao detector; daí o nome auto-energizado. Na Figura 2 encontra-se, esquematicamente, o diagrama de um detector auto energizado.

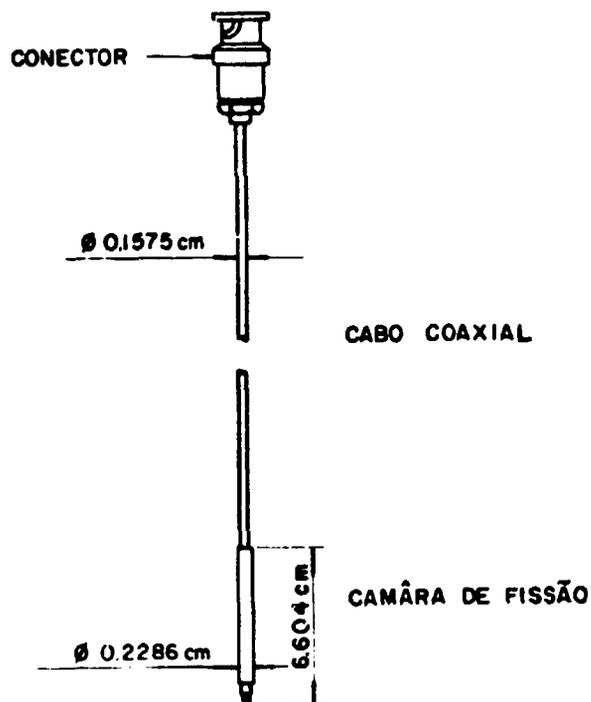
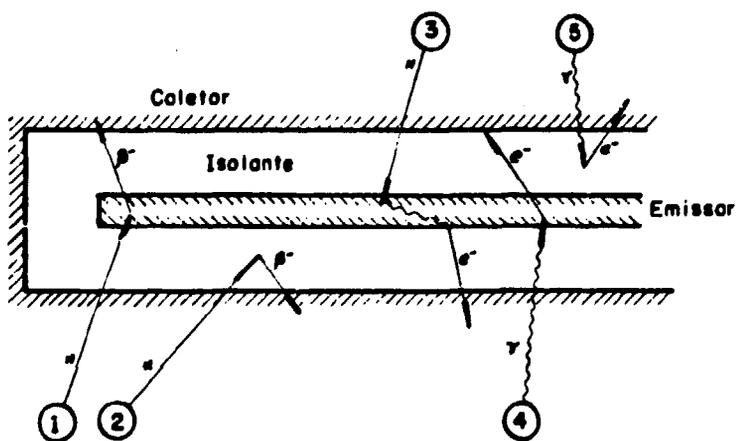


Figura 1 — Esquema da Câmara de Fissão Miniatura WL-23292



- 1) Captura de nêutron seguida por decaimento  $\beta$  no emissor
- 2) Captura de nêutron seguida por decaimento  $\beta$  no material isolante
- 3) Nêutron produzindo raios  $\gamma$  e esses, elétrons Compton
- 4) e 5) Raios  $\gamma$  produzindo elétrons (sinal espúrio)

Figura 2 — Esquema de um Detetor Auto Energizado com os Possíveis Eventos que Possam Ocorrer

## MAPEAMENTO DE FLUXO NO REATOR IEA-R1 COM DETETORES MINIATURA

A fim de se mapear o fluxo neutrônico do reator IEA-R1<sup>(4)</sup> foi construído um tubo guia que permitisse a introdução do detector através dos elementos combustíveis. Esses são constituídos de placas de alumínio contendo urânio enriquecido de 93% ou 19,5% espaçadas de 2,89 mm. A câmara de fissão miniatura WL-23292, que tem ~2,29 mm de diâmetro, deve varrer longitudinalmente o elemento entre as placas de alumínio. O tubo guia<sup>(6)</sup> é feito de alumínio e tem 8,260 m de altura. Esse é encaixado manualmente na parte superior do elemento combustível permitindo varrer os elementos combustíveis em dois planos axiais denominados faces sul e norte. Esse sistema permite medir o fluxo de nêutrons em 26 posições diferentes em cada uma das faces como pode ser visto na Figura 3. Devido ao mecanismo de acionar barras de controle, que impedem o acesso à parte central do núcleo, os elementos da linha 5 na Figura 4 não podem ser mapeados.

O sinal do detector  $R(\underline{r}_0, t)$  é proporcional ao fluxo de nêutrons de acordo com a seguinte expressão:

$$R(\underline{r}_0, t) = \int_0^{\infty} \Sigma_d(E) \phi(\underline{r}_0, E, t) dE$$

onde  $\underline{r}_0$  representa a posição do detector no núcleo e  $\Sigma_d(E)$  representa a seção de choque efetiva do detector que depende do material sensível aos nêutrons, da estrutura e da eficiência intrínseca do detector. Para se obter o fluxo térmico de nêutrons a partir da taxa de reação nêutron  $^{235}\text{U}$ , que é o sinal do detector  $R(\underline{r}_0, t)$ , é necessário levar-se em conta a perturbação que o detector causa localmente no fluxo, descrita em termos de depressão do fluxo ao redor do detector, auto-blindagem e possível contribuição de nêutrons epitérmicos e rápidos às medidas<sup>(3,1)</sup>. Todos esses fenômenos físicos devem estar devidamente representados na seção de choque efetiva,  $\Sigma_d(E)$ , do detector.

O interesse principal dessas medidas é o levantamento da distribuição relativa do fluxo de nêutrons térmicos no reator IEA-R1 e não no fluxo absoluto. Em vista disso, pode-se assumir que o detector perturba igualmente o fluxo neutrônico nas várias regiões do núcleo, tornando desnecessário considerar depressão local do fluxo, auto blindagem, etc.

A câmara de fissão miniatura contendo  $^{235}\text{U}$  em alta concentração como material físsil detecta principalmente nêutrons térmicos mas, também, um pouco de nêutrons rápido e epitérmicos. A contribuição de nêutrons rápidos e epitérmicos depende do espectro dos nêutrons no local de detecção e esse é muito diferente dentro do núcleo e fora no refletor. Cálculos celulares feitos com o código HAMMER<sup>(5)</sup> de taxa de reação com  $^{235}\text{U}$  resultaram em aproximadamente 25% de nêutrons rápidos e epitérmicos reagindo com  $^{235}\text{U}$  e 75% de nêutrons térmicos reagindo com  $^{235}\text{U}$  para uma célula representativa do núcleo do reator IEA-R1. Para o detector localizado no refletor de água, a taxa de reação foi de aproximadamente 99% de nêutrons térmicos com  $^{235}\text{U}$ . Consequentemente, vê-se que a contribuição dos nêutrons rápidos e epitérmicos às medidas variará de acordo com a posição do detector no reator e essa contribuição pode ser não desprezível no caso de se medir o fluxo no centro do reator.

A determinação da contribuição dos nêutrons rápidos e epitérmicos às medidas será feita em um trabalho futuro. Nesse trabalho, ocupamo-nos basicamente em apresentar os resultados obtidos das medidas de fluxo realizadas entre os dias 17 e 18 de setembro de 1984 no reator IEA-R1 com a câmara de fissão miniatura WL-23292.

O procedimento para levantar a distribuição relativa do fluxo neutrônico, ou mapeamento, consiste em:

- colocar o detector a uma certa posição

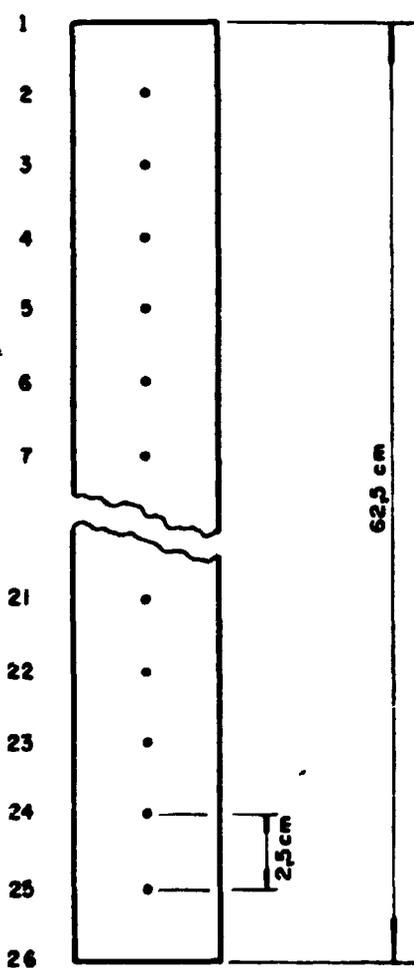
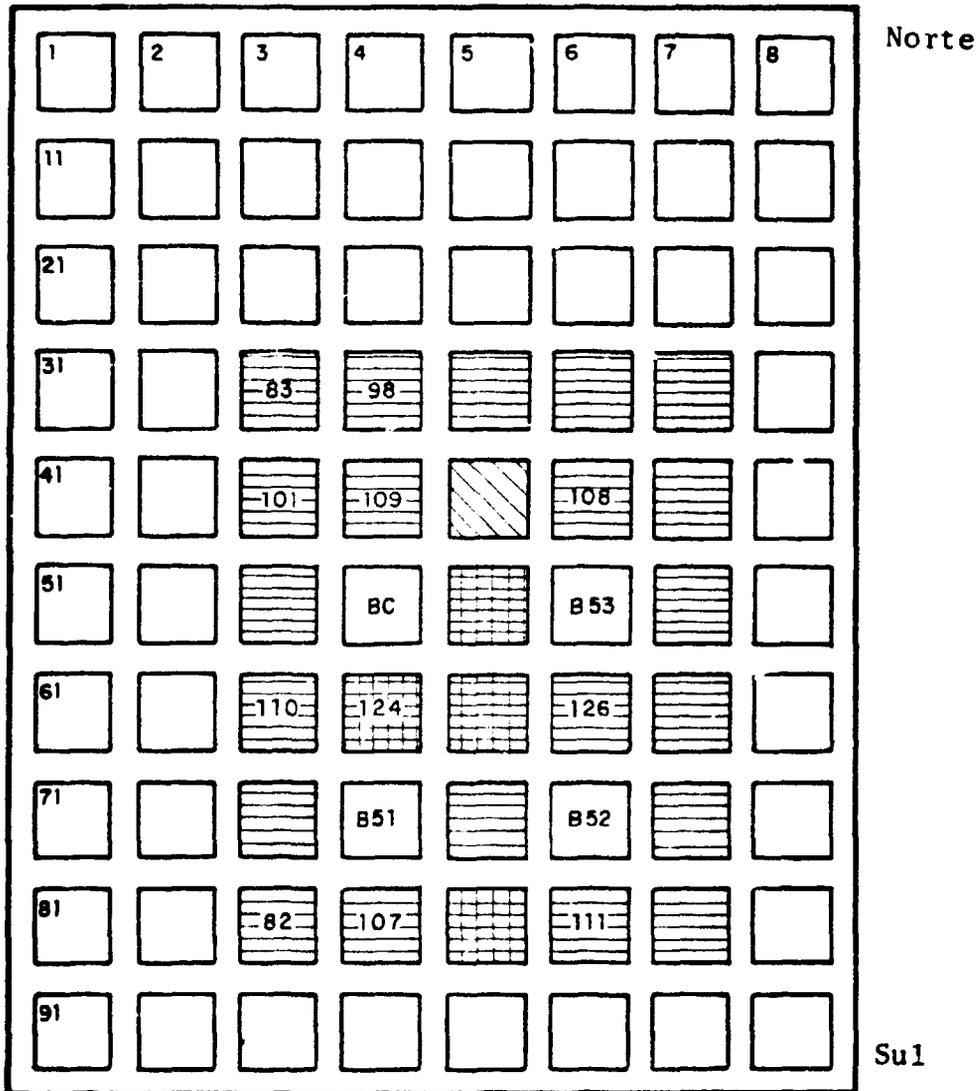


Figura 3 - Posições Axiais de Medidas nos Elementos Combustíveis



-  ELEMENTO COMBUSTÍVEL (93%)
-  ELEMENTO COMBUSTÍVEL (19,5%)
-  ELEMENTO DE IRRADIAÇÃO

Figura 4 - Configuração 149 do Reator IEA-R1

- esperar que possíveis transientes do fluxo decaiam (10s).
- contar nêutrons por um tempo suficiente para que se tenha boa estatística. Por boa estatística entende-se que a contagem de nêutrons seja bem maior que o background (> 100 vezes) e que a variação entre contagens subsequentes seja pequena (< 1%).
- colocar o detetor em nova posição e repetir o procedimento.
- fazer as correções necessárias para que, a partir do sinal do detetor, possa se obter o fluxo térmico (essa etapa ainda não foi concluída).

Os perfis obtidos para vários elementos estão apresentados na próxima seção mostrando que o sistema de medidas funciona bem. As dificuldades que surgiram durante as medidas são mencionadas e também como elas foram contornadas.

## RESULTADOS E ANÁLISES DO MAPEAMENTO DE FLUXO

O fluxo neutrônico do reator IEA-R1 foi mapeado com o detector miniatura em várias posições. Os elementos combustíveis mapeados estão mostrados na Figura 4 onde N e S indicam a face norte e a face sul, respectivamente. O reator IEA-R1 estava sendo operado com a configuração 149, que tem elementos combustíveis enriquecidos a 19,5 e 93%, a um nível de 800W de potência mantido pelo sistema automático de operação. Como o sistema de mapeamento introduz o detetor entre as placas dos elementos combustíveis, há uma piora nas condições de remoção de calor produzido nas placas devido ao bloqueio de refrigerante. Por essa razão o nível baixo de 800W de potência é mantido para garantir que não aconteça um sobre-aquecimento do elemento combustível que possa causar algum problema de segurança.

As medidas do dia 17/09 foram feitas com o reator em estado estacionário com as barras de controle nas seguintes posições:

	Posição no Mostrador	Inserção da Barra no Núcleo
BS 1	693	18,42 cm
BS 2	651	20,94 cm
BS 3	651	20,94 cm
BC	613	23,22 cm

As medidas do dia 18/09 foram feitas também com o reator em estado estacionário, com as barras de controle nas seguintes posições:

BS 1	640	21,60 cm
BS 2	640	21,60 cm
BS 3	640	21,60 cm
BC	669	19,86 cm

O sistema de detecção consistiu da câmara de fissão miniatura WL-23292 e dos instrumentos associados, que foram operados nas seguintes condições:

- pré-amplificador ORTEC 109-PC - Polaridade positiva  
ganho 10

- amplificador PM-321 – constante de tempo 1  
ganho 50  
polaridade positiva
- monocanal ORTEC 455
- contador ORTEC 172
- contador de tempo ORTEC 719 (4s)
- fonte de alta tensão ORTEC 4<sup>-6</sup> em 100 Volts.

Nas Figuras 5 a 15 encontram-se os perfis do fluxo térmico devantados com o detetor miniatura para vários elementos combustíveis. O tempo de acumulação de contagem para cada ponto medido foi de 4 s, proporcionando contagens entre 20.000 e 200.000. Esse alto número de contagens permitiu uma boa estatística indicando que as incertezas que existem são devidas a variação da potência do reator durante as medidas, variação na posição da barra de controle BC e de variações no sistema de detecção de medir o fluxo térmico.

Dois pontos caracterizam o mapeamento de fluxo neutrônico: a face do elemento combustível mais próxima do centro do reator tem um fluxo maior e as barras de controle diminuem o fluxo térmico na sua proximidade. Esses dois pontos, que estão bem caracterizados nas medidas de mapeamento feitas, demonstram a precisão e utilidade dessas medidas para comparação com cálculos. A presença das barras de controle na parte superior do reator, inseridas aproximadamente 1/3 da altura do núcleo, faz com que o fluxo seja maior na parte inferior do reator. Em todas as figuras vê-se que absorção de nêutrons térmicos pelas barras de controle é grande. Também pode ser visto os picos no refletor característicos dos nêutrons térmicos em região com excesso de moderação.

O elemento combustível nº 82 encontra-se na periferia com a face norte mais próxima da barra de controle BS1 e do centro do reator. Como se vê na Figura 5, o fluxo térmico é ligeiramente mais baixo na face norte que na face sul, na região superior próxima da barra, devido a alta absorção de nêutrons. A medida que distanciamos da extremidade da barra o fluxo de nêutrons na face norte começa a aumentar e ficando maior que na face sul. Isto se dá porque o fluxo é mais alto no centro do reator.

O elemento combustível nº 83 encontra-se longe o suficiente das barras de controle, já estando fora do efeito local de depressão de fluxo. Portanto a face sul, voltada para o centro do reator, tem um fluxo mais alto que a face norte. A medida feita na altura 8 da face norte apresenta-se mais alta que a esperada. De quatro medidas houve contagens de 46800, 50513 e 41884. Essa variação é devida a oscilação da potência do reator durante as medidas que é controlada por um sistema automático. Esse sistema faz com que a potência oscile em torno de um nível prefixado.

O elemento combustível nº 110 está equidistante das barras de controle BC e RS1, numa posição central do núcleo. Isto faz com que o fluxo nas duas faces dos elementos sejam parecidos. O fluxo na face sul é ligeiramente menor perto das barras porque a barra BS1 é um pouco mais reativa que a barra BC. As outras variações representam características do núcleo.

Os mapeamentos feitos nos elementos combustíveis apresentam as características de um desses elementos mencionados acima. A presença das barras de controle pode ser observada facilmente nas proximidades dos elementos combustíveis. Variações em torno de 5% foram notadas entre algumas medidas em posições perto da extremidade da barra de controle BC. Essas variações são devido a operação automática do reator, que de acordo com um sinal de demanda de potência, levanta ou abaixa a barra de controle BC a fim de manter a potência do reator num nível predeterminado. A flutuação vista no detetor miniatura é rápida e corresponde a perturbação local do fluxo devido ao movimento da barra. Medidas feitas na mesma posição mas em tempos diferentes as vezes mostravam variações maiores que as esperadas estatisticamente. Essas variações, já em um intervalo de tempo mais longo, da ordem de minutos, são devidas a oscilação do nível do controle automático.

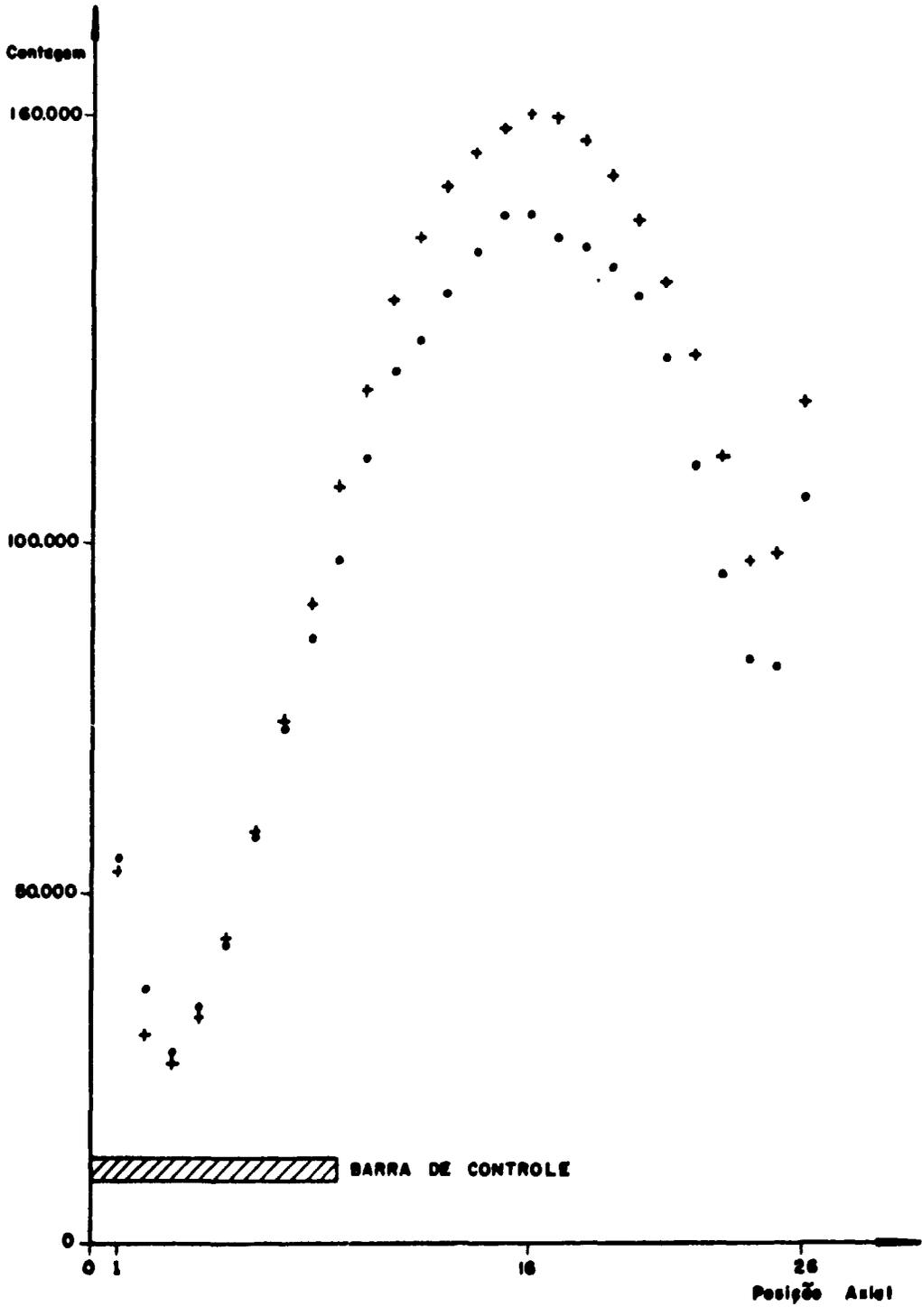


Figura 5 - Distribuição Axial do Elemento n° 82

+ Face Norte

• Face Sul

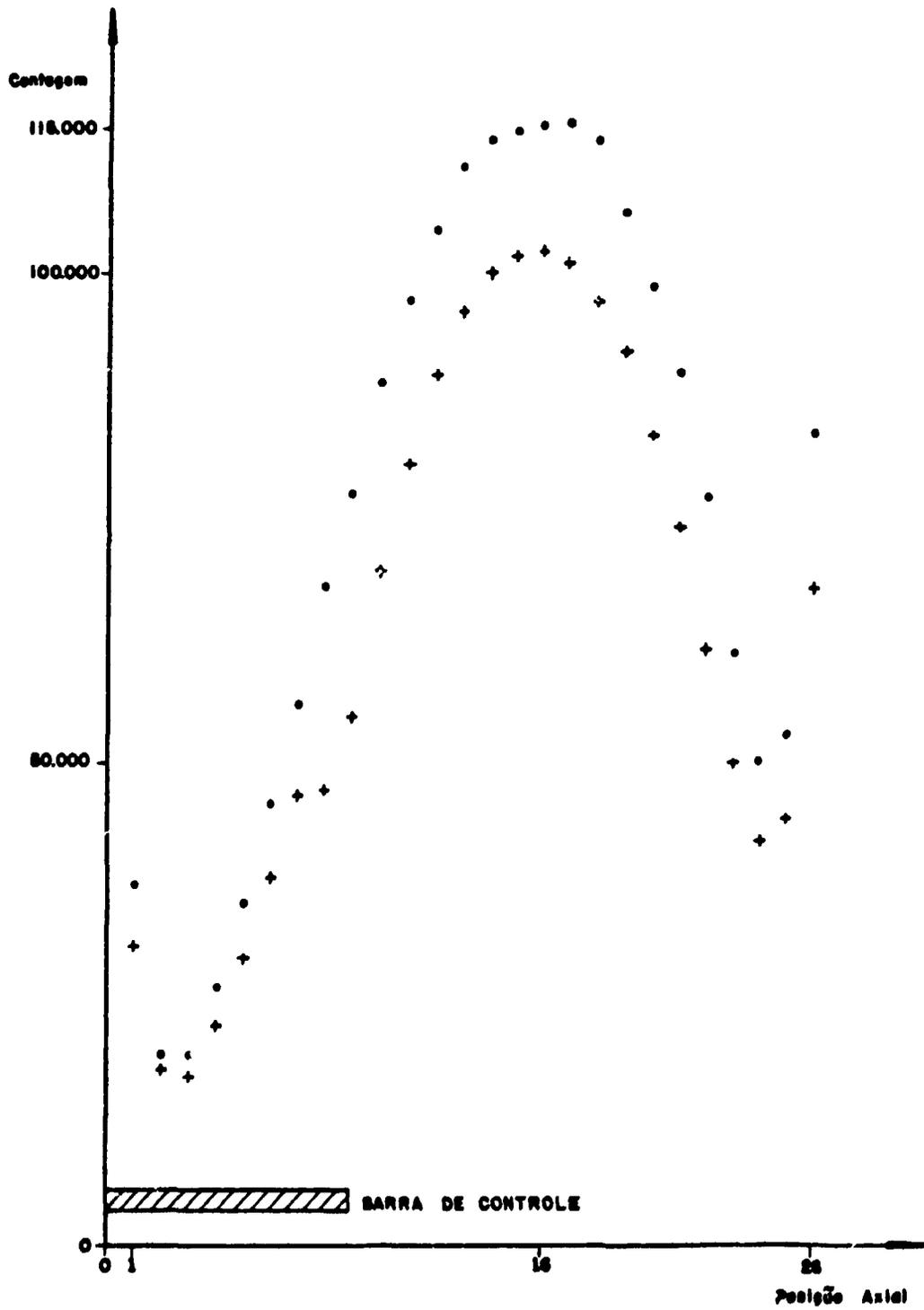


Figura 6 - Distribuição Axial do Elemento nº 83

+ Face Norte

• Face Sul

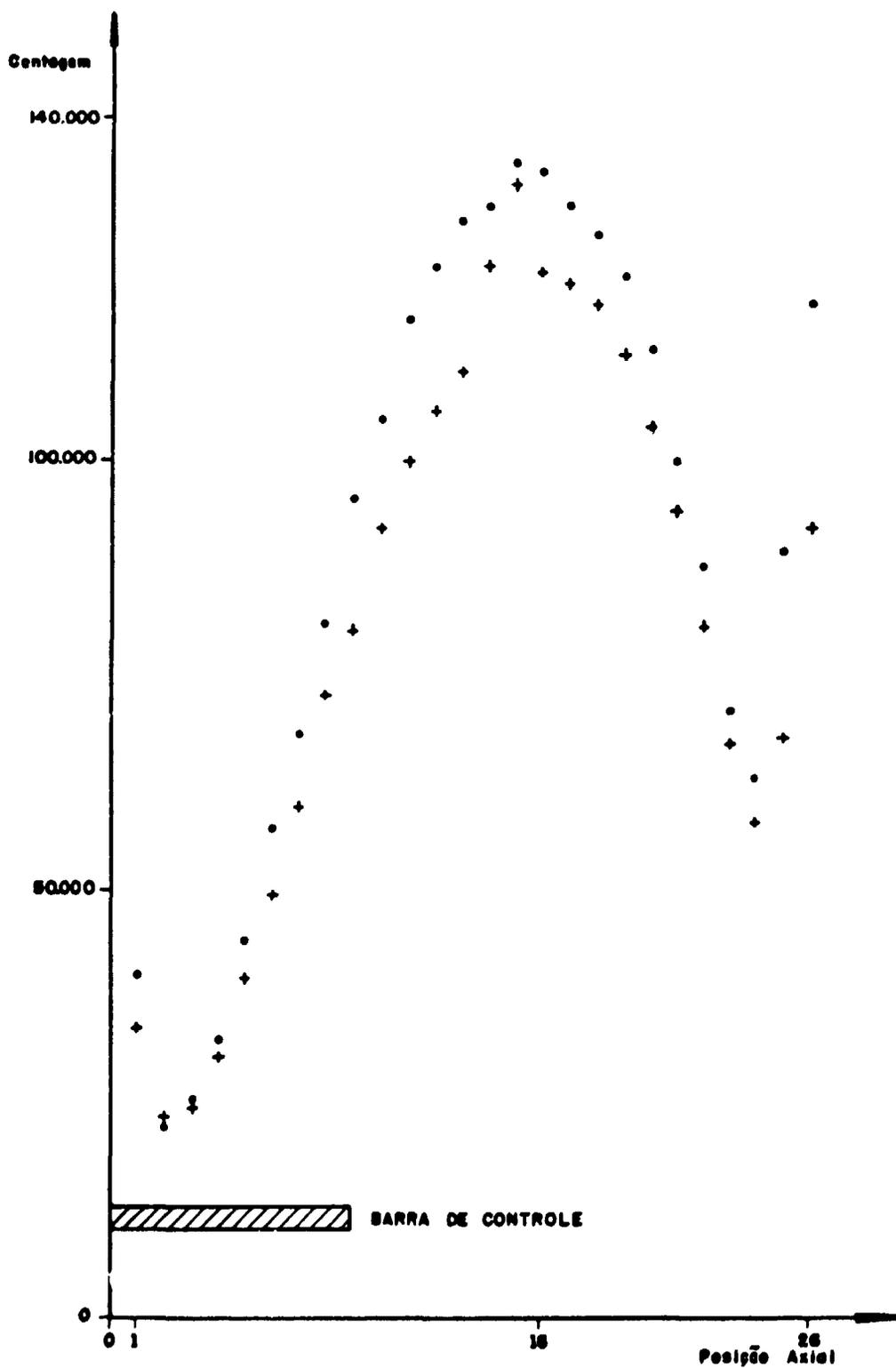


Figura 7 - Distribuição Axial do Elemento nº 98

+ Face Norte

• Face Sul

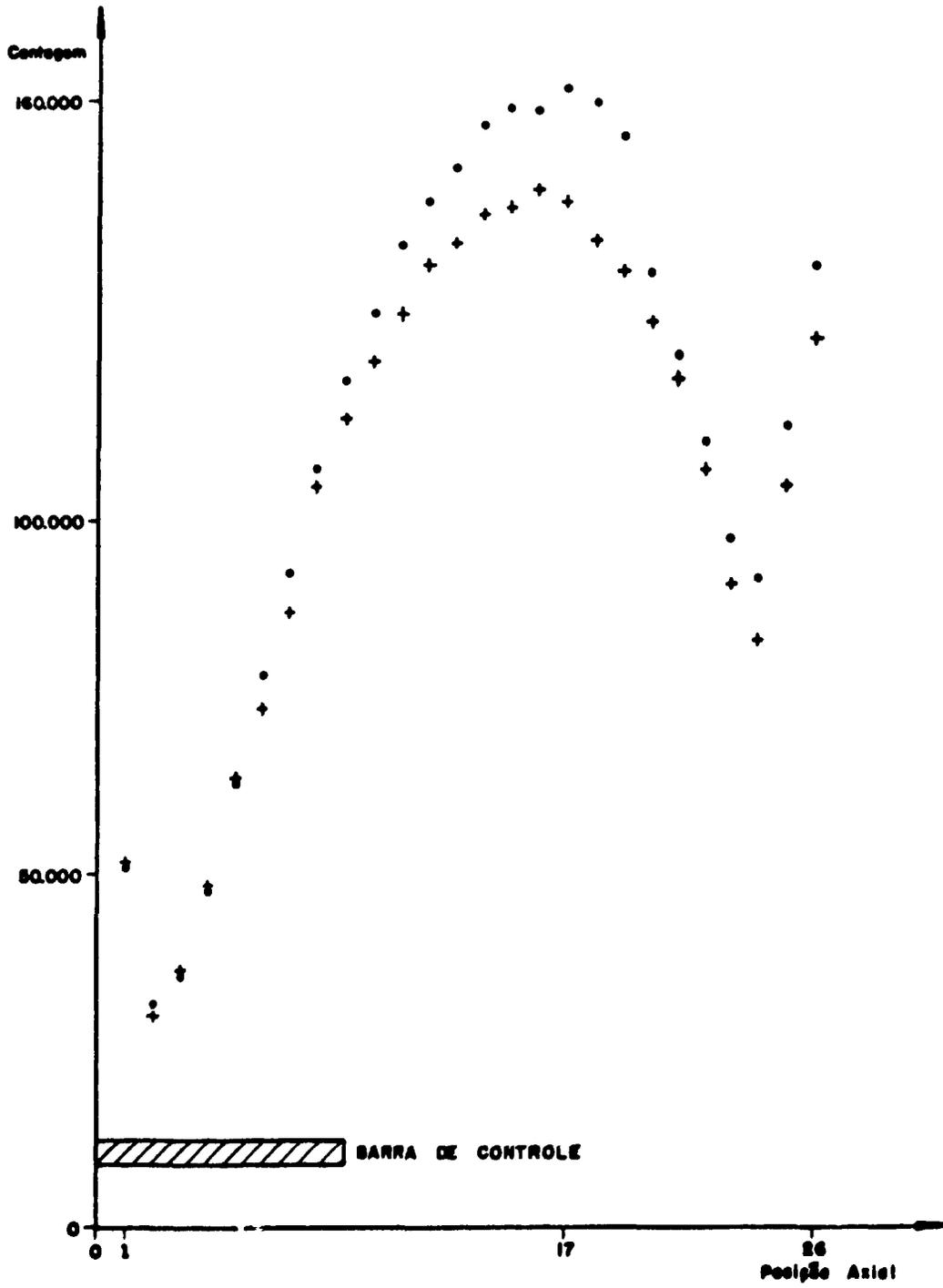


Figura 8 - Distribuição Axial do Elemento nº 101  
 + Face Norte  
 • Face Sul

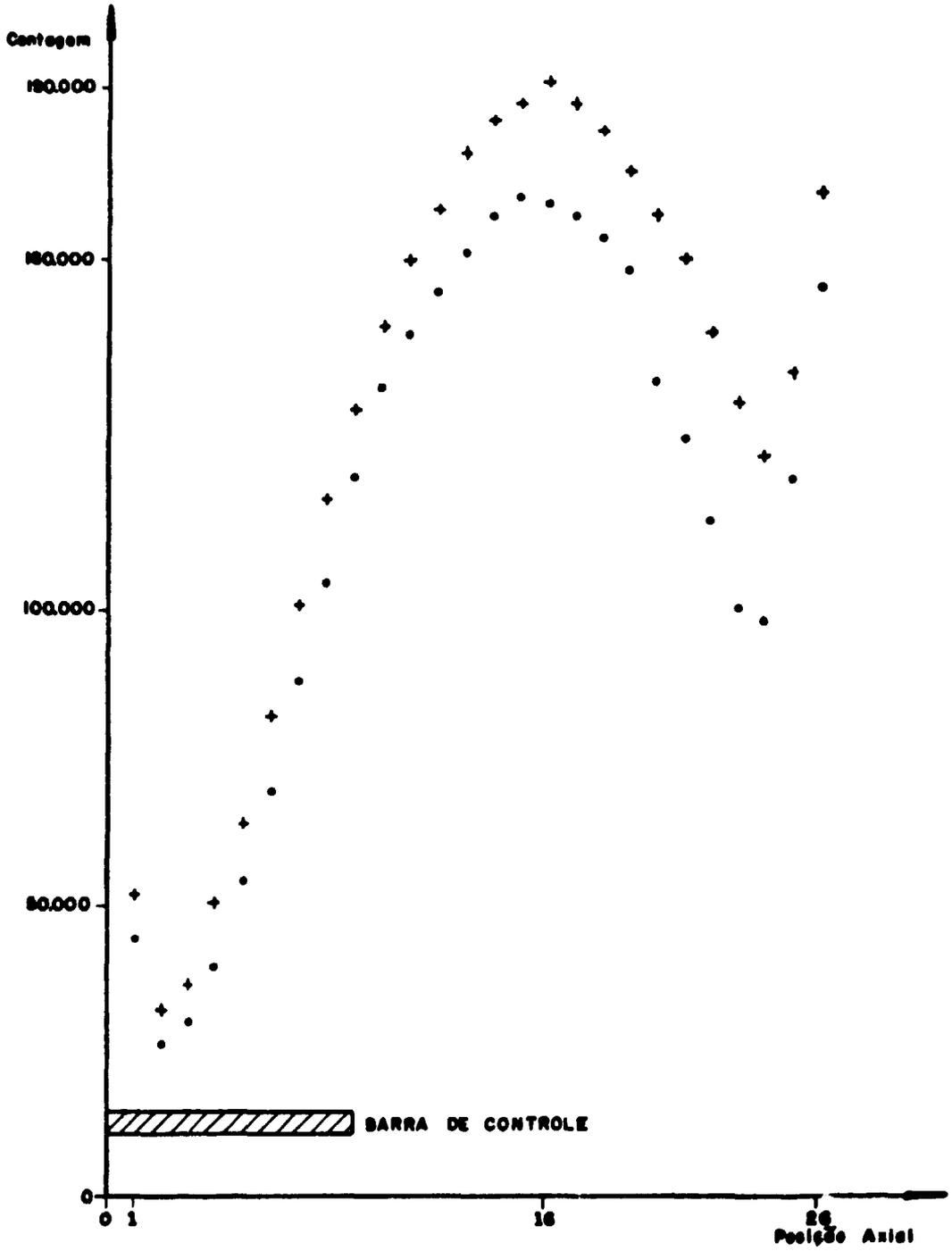


Figura 9 - Distribuição Axial do Elemento nº 104

+ Face Norte

• Face Sul

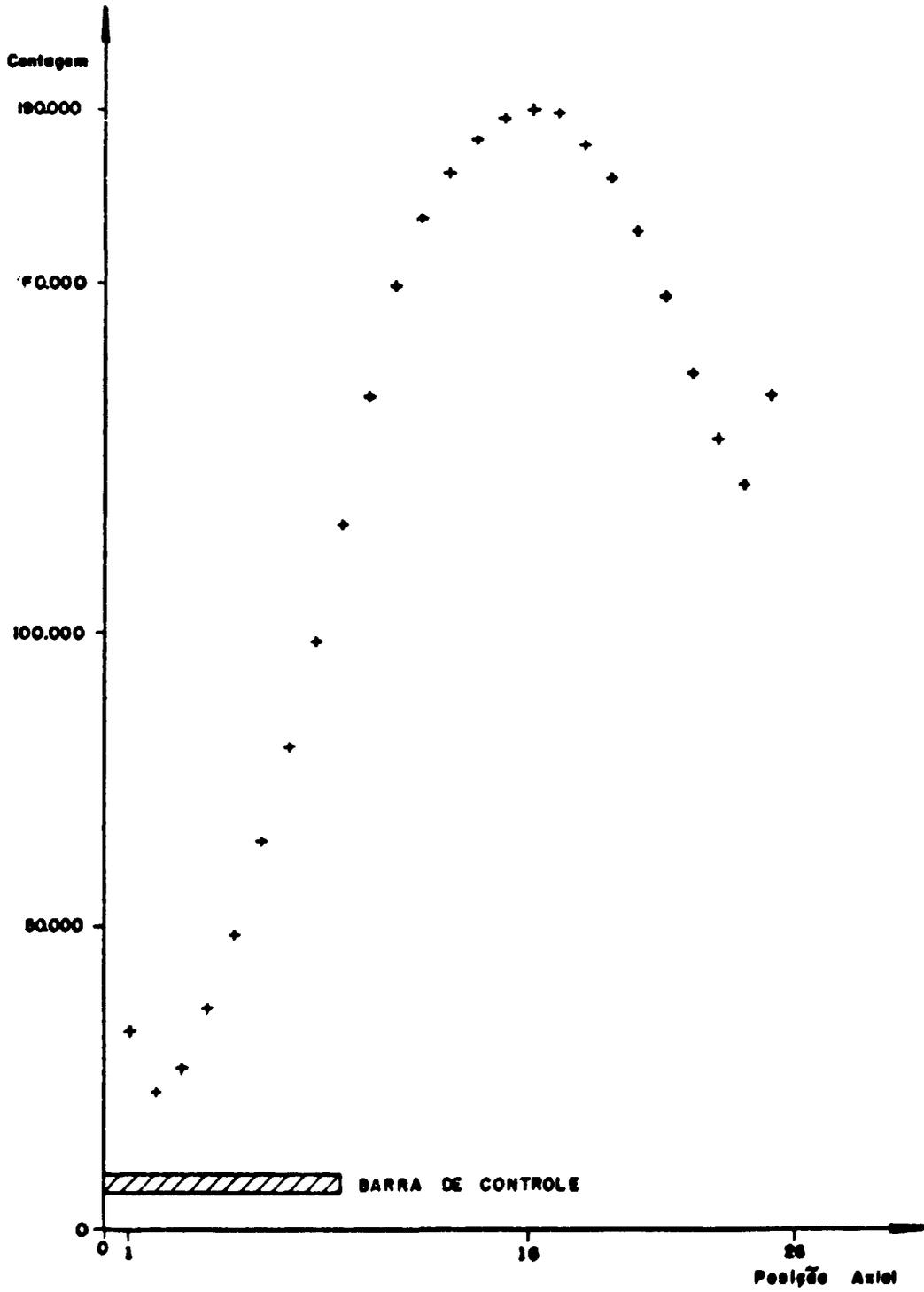


Figura 10 - Distribuição Axial no Elemento nº 107  
+ Face Norte

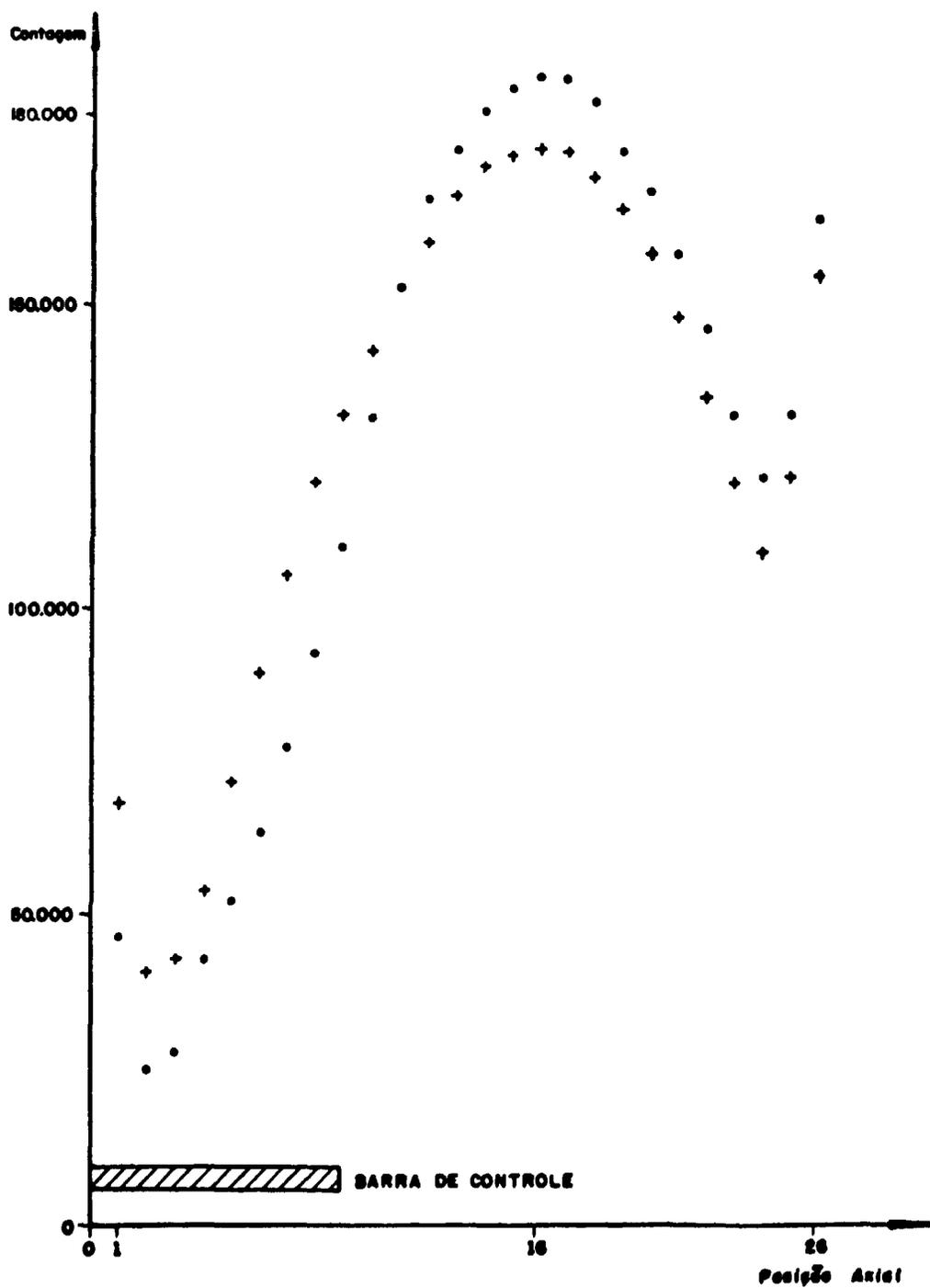


Figura 11 - Distribuição Axial do Elemento nº 108

+ Face Norte

• Face Sul

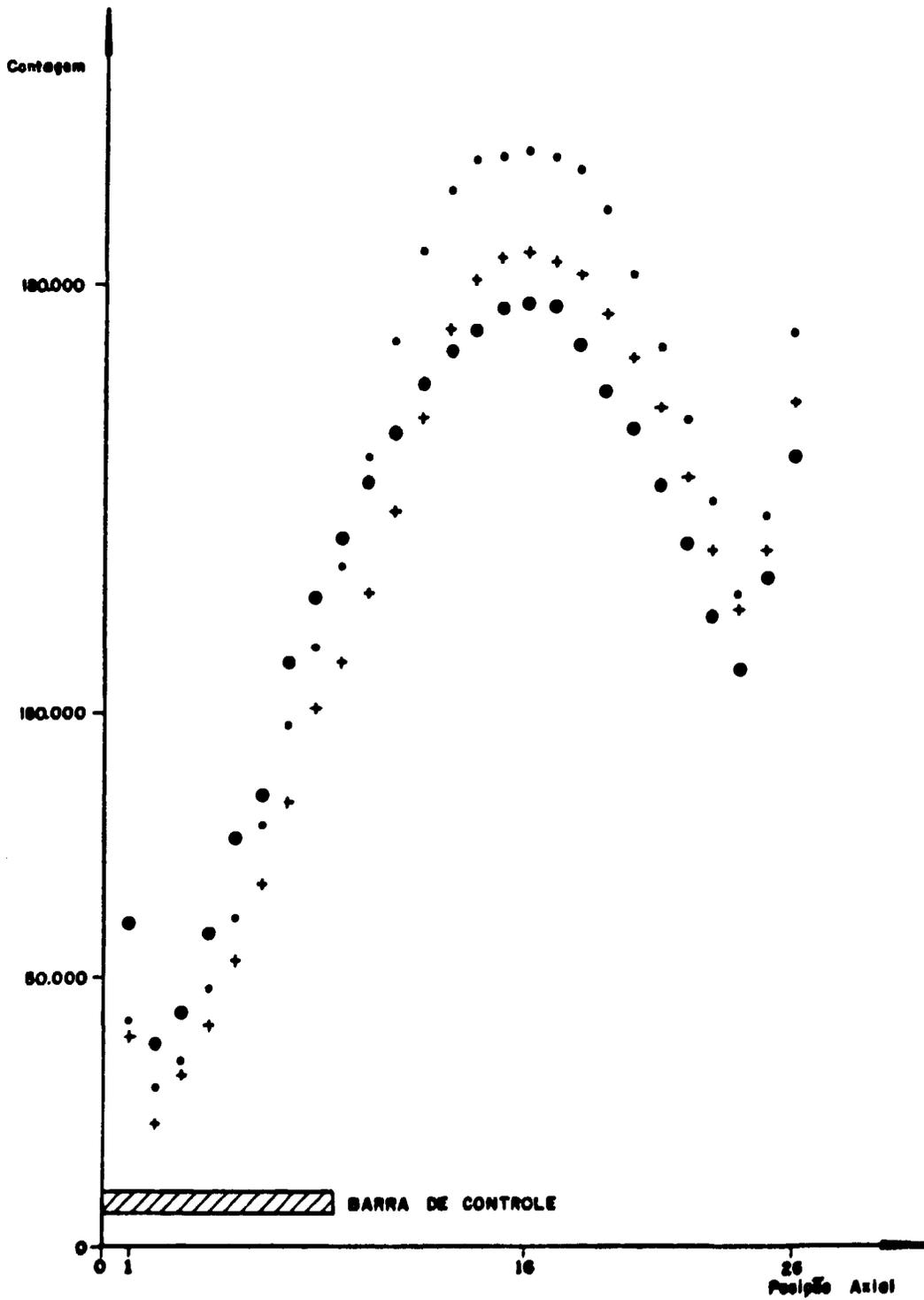


Figura 12 – Distribuição Axial do Elemento n° 109

- Face Sul no dia 18.09.84
- + Face Sul no dia 17.09.84
- Face Norte

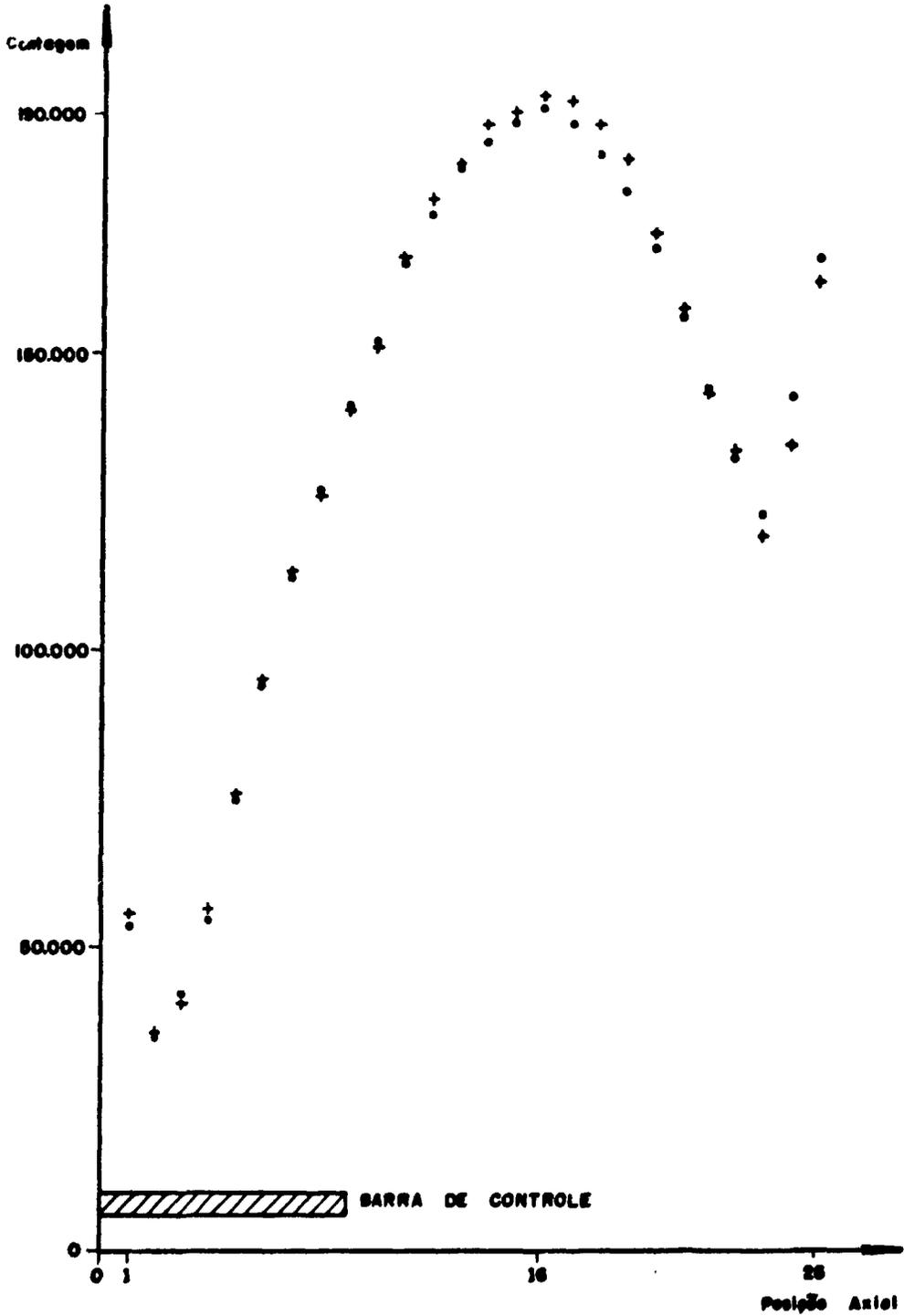


Figura 13 – Distribuição Axial do Elemento Combustível nº 110  
+ Face Norte  
• Face Sul

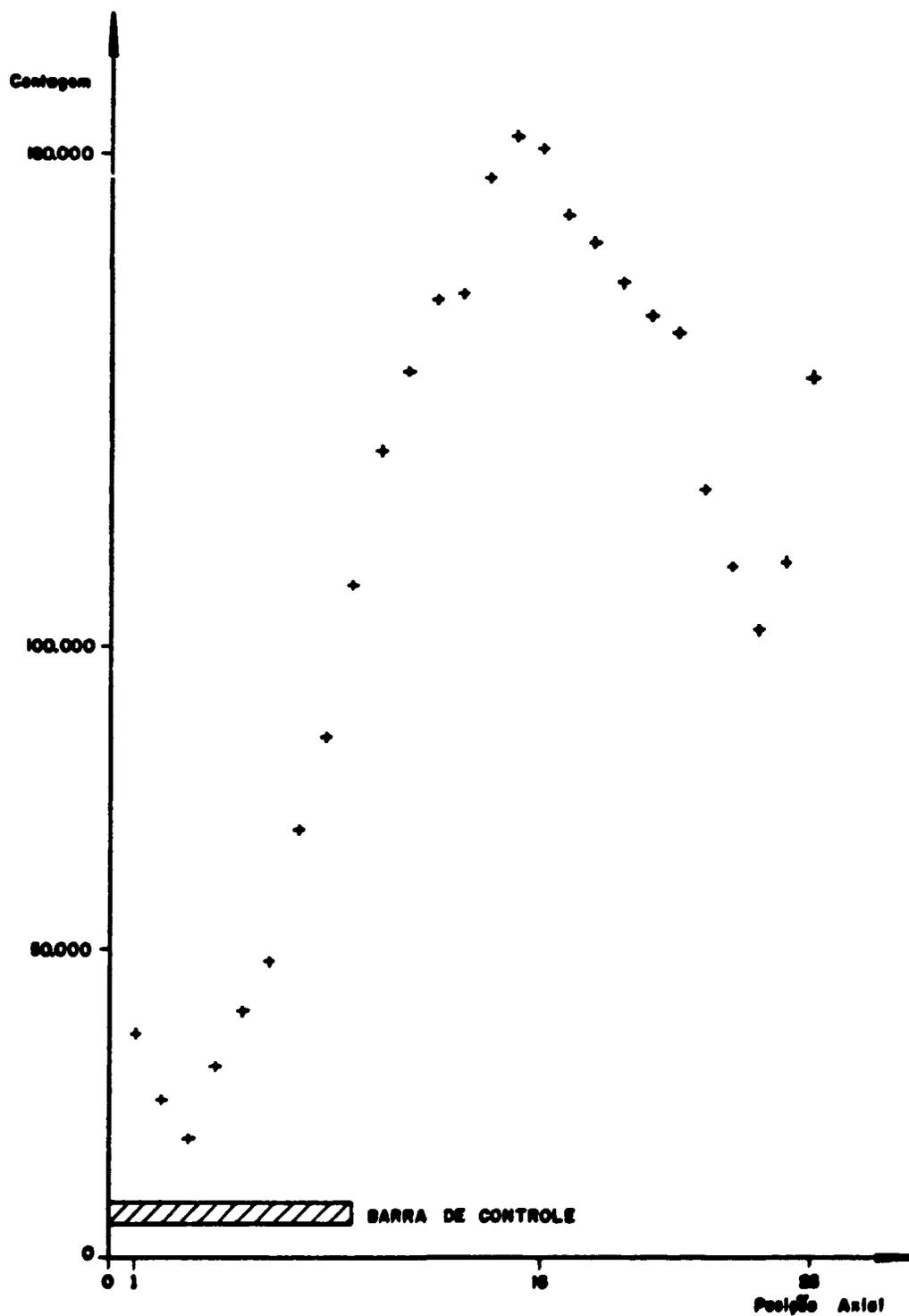


Figura 14 - Distribuição Axial do Elemento nº 111  
 + Face Norte

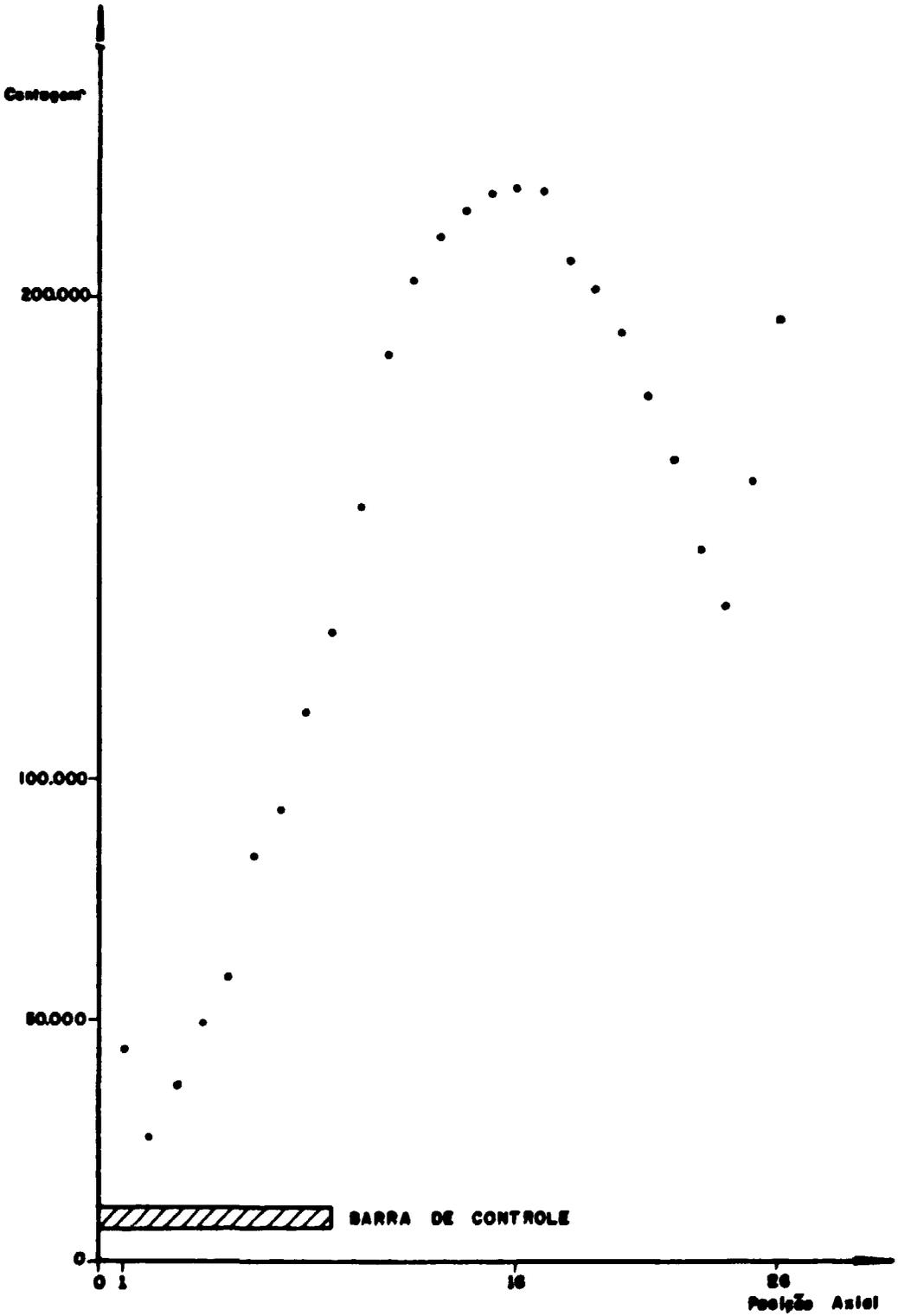


Figura 15 -- Distribuição Axial do Elemento nº 124  
+ Face S11

Os resultados obtidos com o mapeamento com o detector miniatura mostram bem as características físicas do núcleo do IEA-R1. Com esse sistema de mapeamento pode-se conseguir material para comparação com resultados obtidos com métodos de cálculo de reatores em uso no IPEN. Isso proporcionará maior confiança tanto nas medidas como em cálculo.

Como foi mencionado, a maior incerteza quanto a medição é proveniente da incapacidade de se manter a potência do reator IEA-R1 num nível pré-fixado. Uma maneira de se evitar tal dificuldade seria calibrar com o canal linear as medidas do detector miniatura. Qualquer variação na potência do reator poderia ser descontada das medidas do detector miniatura. Para que essa calibração seja feita corretamente é necessário que o detector do canal linear esteja fixo em uma mesma posição e sua eficiência não mude durante o mapeamento.

Outra dificuldade encontrada durante as medidas foi a contaminação com ruídos externos dos sinais do detector miniatura. Esse ruído é basicamente proveniente da longa distância entre o detector miniatura e o pré-amplificador. Atividades como movimento do elevador, acender e apagar de luzes no prédio do reator e radiofrequência afetam os resultados pois criam sinais espúrios no sistema de contagens. Para evitar a contaminação das medidas por esses sinais algumas precauções devem ser tomadas, como por exemplo, o isolamento dos cabos ligando o detector miniatura ao pré-amplificador com mallas ou tubos metálicos e isolamento da rede elétrica que serve a instrumentação do reator.

Medidas feitas com a câmara de fissão miniatura a 0,5m acima do núcleo foram tomadas como background de radiação  $\gamma$ . A essa distância do núcleo, o fluxo de nêutrons, já bastante atenuado, é muito pequeno e a câmara detecta quase que somente radiação  $\gamma$ . Para evitar a contaminação dos sinais medidos pela radiação  $\gamma$  existente no reator o monocanal foi operado discriminando pulsos de amplitude baixas, característicos de radiação  $\gamma$ . O background medido foi em geral muito pequeno, bem menor que 1%, garantindo a pureza do sinal medido.

## SUMÁRIO E CONCLUSÕES

O objetivo desse trabalho foi capacitar o reator IEA-R1 de um sistema de mapeamento de fluxo rápido e eficiente. Para tal construiu-se um sistema de guia, que permite a introdução da câmara de fissão miniatura WL-23292 entre as placas dos elementos combustíveis do reator IEA-R1. Vários elementos combustíveis do reator IEA-R1 foram mapeados e os resultados demonstram a simplicidade e eficiência das medidas. O mapeamento não impõe restrição alguma na operação do reator, a não ser a sua operação em um nível baixo de potência, por razões de segurança.

O maior problema surgido durante os mapeamentos feitos no reator IEA-R1 foi a flutuação da potência do reator durante as medidas. Para resolver esse problema, recomenda-se a calibração do detector miniatura com um dos canais lineares do reator IEA-R1, a fim de que essas flutuações sejam descontadas dos resultados. Outro problema a ser eliminado é o ruído elétrico contaminando os sinais do sistema de contagem de nêutrons. Variação de tensão na rede elétrica que alimenta a instrumentação deve ser evitada, pois causam sinais espúrios que podem mascarar por completo os sinais neutrônicos.

Em continuação a esse trabalho pretende-se determinar a seção de choque efetiva  $\Sigma_d(E)$ , da câmara de fissão WL-23292. Assim haverá maior precisão no fluxo térmico, eliminando-se as contribuições epitérmica e rápida nas medidas. Também pretende-se comparar as distribuições de fluxo medidas no reator IEA-R1 com distribuições calculadas através dos métodos de análise usados na divisão de reatores. Essas comparações indicarão possíveis melhoramentos na modelagem do núcleo do reator IEA-R1, assim como darão maior confiança tanto aos métodos de cálculos como ao mapeamento com o detector miniatura.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. CRUMP, M. W. & LEE, J. C. Calculation of spatial weighting functions for ex-core neutron detectors. *Nucl. Tech.*, 41:87-96, 1978.
2. KNOLL, C. F. *Radiation detection and measurement*. New York, John Wiley, 1979.
3. MESTINIK FILHO, J. *A distribuição espacial do fluxo de neutrons no núcleo do reator IEA-R1 obtida por meio da ativação de folhas*. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, 1979. (IEA-DT-132).
4. RELATÓRIO de análise de segurança do reator IEA-R1 modificado. São Paulo. 1974
5. SUICH, J. E. & HONECK, H. C. *The HAMMER system heterogeneous analysis of multigroup methods of exponential and reactors*. Aiken, S. C., Savannah River Lab., 1967. (DP-1064).
6. TANGARI, C. M. *Montagem de um sistema para mapeamento do núcleo com detector miniatura*. São Paulo, IPEN-RTF, Fev. 1984. (Relatório Interno).
7. WARREN, H. D. & SHAH, N. H. Neutron and gamma-ray effects on self-powered incore radiation detectors. *Nucl. Sci. Eng.*, 54:395-415, 1974.