

RADIOGRAFIA COM NÊUTRONS NO REATOR NUCLEAR IEA-R1

Reynaldo Pugliesi; Marco Antonio P.V. de Moraes;  
Ione M. Yamazaki; Clarice de Freitas Acosta

Divisão de Física Nuclear  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Comissão Nacional de Energia Nuclear

RESUMO

Radiografia com nêutrons de diversos materiais obtidos no reator IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP, foram analisados qualitativamente. Duas técnicas de conversão foram empregadas: a)  $(n, \alpha)$  usando o canal de nêutrons nº 3 do reator, onde o feixe de nêutrons extraído fornece um fluxo no local da irradiação de  $\sim 10^5$  n/s/cm<sup>2</sup>, com uma área de 4 cm x 8 cm. O filme empregado foi o CN-85 coberto por uma camada conversora de tetraborato de lítio. O tempo de irradiação dos filmes foi de 15 minutos e o de revelação foi de 30 minutos em uma solução aquosa de NaOH (10% em massa) à uma temperatura constante de 60°C; b)  $(n, \gamma)$  usando o arranjo experimental próprio e instalado no fundo da piscina do reator. O fluxo de nêutrons colimado no local da irradiação (próximo ao caroço) é de  $\sim 10^5$  n/s/cm<sup>2</sup>, a conversão foi feita por uma folha de disprósio e o filme empregado foi o Kodak T-5. O tempo de irradiação foi de 2 horas e o de transferência da imagem para o filme foi de 20 horas.

ABSTRACT

Neutronradiography of several materials have been obtained at the IEA-R1 Nuclear Research Reactor (IPEN-CNEN/SP), by means of two conversion techniques: a)  $(n, \alpha)$  at the beam-hole nº 3 where a collimated thermal neutron beam, exposure area 4 cm x 8 cm and flux at the sample  $10^5$  n/s/cm<sup>2</sup> is obtained. The film used was the CN-85 cellulose nitrate coated with lithium tetraborate (converter). The time irradiation of the film was 15 minutes and in following was etched during 30 minutes in a NaOH (10W) aqueous solution at a constant temperature of 60°C; b)  $(n, \gamma)$  by using an experimental arrangement installed in the bottom of the pool of the reactor. The flux of the collimated neutron beam is  $10^5$  n/s/cm<sup>2</sup> at the sample and the conversion is made by means of a dysprosium sheet. The film used was the Kodak T-5. The irradiation and the transferring time was 2 hours and 20 hours respectively, and the film used was the Kodak T-5.

## INTRODUÇÃO

A radiografia com nêutrons é uma técnica relativamente recente, empregada na análise de materiais e consiste basicamente em se colocar o material a ser neutrongrafado em um feixe de nêutrons homogêneo, registrando o padrão dos nêutrons transmitidos. A intensidade desse feixe transmitido é governada pela espessura do material e pela secção de choque total macroscópica, que leva em conta todos os processos de interação entre o nêutron e o material, os quais atribuem à neutrongrafia características únicas (1,2,3).

A secção de choque de espalhamento incoerente em núcleos de hidrogênio é relativamente alta e isto faz com que esta técnica seja aplicável na investigação de plásticos, óleos, explosivos, adesivos, água e outras substâncias hidrogenadas. Uma outra propriedade importante dos nêutrons para essa finalidade é o seu alto poder de penetração em materiais pesados, tornando a técnica desejável na investigação de materiais hidrogenados encapsulados em metais, como por exemplo ferro e chumbo. Além disso, a secção de choque para os nêutrons varia sensivelmente de elemento para elemento, o que permite, em certos casos, observar variações na estrutura do material em estudo, mesmo que esses elementos possuam números atômicos vizinhos.

O registro do padrão dos nêutrons transmitidos através do material é feito por meio de sua captura por elementos conversores, cuja função é dar origem à radiações ionizantes capazes de sensibilizar filmes especiais. Normalmente folhas de gadolínio e de disprósio são utilizadas como conversoras do tipo  $(n,\gamma)$ . O filme empregado nesses casos é o mesmo que o utilizado em radiografias com raios X. Essas folhas são empregadas em neutrongrafias nos chamados métodos direto e indireto respectivamente. No primeiro, a folha e o filme são simultaneamente colocados no feixe de nêutrons transmitidos, enquanto, que no segundo, a folha é ativada por esses nêutrons e posteriormente colocada em contato com o filme. O método indireto é indicado nos casos em que raios X ou radiação gama estejam presentes no feixe de nêutrons.

Uma outra forma para o registro do padrão dos nêutrons transmitidos é através de traços, causados por partículas alfa em filmes plásticos, chamados de detectores de traços de estado sólido, os quais se tornam visíveis após ataque químico adequado. Essas partículas alfa são oriundas de elementos conversores como o boro e o lítio, por meio das reações  $B^{10}(n,\alpha)Li^7$  e  $Li^7(n,\alpha)T$ . Uma das principais características destes filmes é a sua insensibilidade à luz visível, raios X, radiação gama e beta (2).

O objetivo do presente trabalho foi o de verificar a viabilidade da neutrongrafia por ambas as técnicas de conversão com a finalidade de implantá-la no IPEN-CNEN/SP a nível qualitativo e quantitativo para a sua aplicação na análise não destrutiva de materiais.

## PARTE EXPERIMENTAL

### 1. Arranjo Experimental

#### 1.1. Conversão $(n,\alpha)$

A fonte de nêutrons utilizada foi o reator de pesquisas IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP que opera a uma potência de 2 MW e com um fluxo de nêutrons térmicos da ordem de  $10^{13}n/cm^2.s$  em seu núcleo. O feixe de nêutrons foi extraído do reator por meio do canal de nêutrons (beam-hole) número 3, onde está instalado um espectrômetro de tempo de voo (figura 1). Em seu interior há um tubo de alumínio

com 12 polegadas de diâmetro dentro do qual existem três anéis de ferro, que tem por finalidade colimar o feixe de nêutrons oriundo do reator, e três filtros, um de chumbo para reduzir a contribuição da radiação gama no local de trabalho e dois de berílio, que permitem que do feixe colimado, somente os nêutrons térmicos com comprimento de onda maior do que  $3,96 \text{ \AA}$ , o que corresponde à energias inferiores a 5,2 meV, deixem o canal. O feixe de nêutrons extraído possui dimensões de 4 cm x 8 cm e um fluxo da ordem de  $10^5 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$  no local da irradiação.

Na parte externa do canal e junto à blindagem biológica do reator, caixas de parafina borada são utilizadas para reduzir a contribuição de nêutrons no local de trabalho.

O porta-amostra, confeccionado inteiramente em alumínio consiste basicamente de um suporte no formato de um "L", no qual o objeto a ser neutrongrafado e o filme são fixados conforme mostra a figura 1.

## 1.2. Conversão(n, $\gamma$ )

O arranjo experimental para obtenção de neutrongrafia por conversão(n, $\gamma$ ) está instalado no fundo da piscina do reator e consta basicamente de um colimador cônico divergente e uma redoma onde o porta-amostra e uma chapa conversora de disprósio são devidamente acomodados. Esse arranjo está acoplado à uma treliça móvel que o desloca até as proximidades do caroço do reator, onde o fluxo de nêutrons térmicos é da ordem de  $10^{10} \text{ n/s/cm}^2$ , atingindo aproximadamente  $10^5 \text{ n/s/cm}^2$  no local da irradiação.

O porta-amostra também confeccionado em alumínio tem o formato de uma caixa com dimensões 10 cm x 10 cm x 40 cm, atrás da qual a chapa conversora é acoplada (figura 2).

## 2. Filmes e Procedimentos para a Obtenção de Radiografias

### 2.1. Conversão(n, $\alpha$ )

O filme empregado para neutrongrafia por conversão(n, $\alpha$ ) foi o do tipo CN-85, composto por nitrato de celulose com espessura de 100 micra, coberto em ambas as superfícies pela camada conversora de tetraborato de lítio. O fato desse filme ser insensível à radiação gama é conveniente ao experimento, tendo em vista a contribuição gama existente no local da irradiação.

O procedimento para obter a neutrongrafia é colocar o porta-amostra em frente ao feixe de nêutrons de modo que o objeto a ser analisado fique o mais próximo possível do filme. Após 15 minutos de irradiação o filme é retirado do porta-amostra, lavado em água para remover a camada de tetraborato de lítio e em seguida é submerso durante 30 minutos em uma solução de hidróxido de sódio (10% em massa) à uma temperatura constante de 60°C (valores obtidos experimentalmente). Esse filme é então novamente lavado em água corrente e secado numa corrente de ar. Após esse tratamento, a figura do objeto irradiado poderá ser observada visualmente no filme.

### 2.2. Conversão(n, $\gamma$ )

Basicamente o procedimento para a obtenção das neutrongrafias difere do anterior pois no lugar do filme empregou-se a chapa de conversão de disprósio a qual uma vez ativada por reação(n, $\gamma$ ) ( $T_{1/2} = 2,38$  horas) é colocada em contacto com o filme para transferência da imagem. Foram feitos testes com quatro tipos de filmes e o melhor resultado foi obtido com o Kodak T-5. Os tempos de irradiação

ção e de transferência foram de 2 horas e de 20 horas respectivamente. Terminada a transferência o filme é revelado por processos convencionais.

Para ambos os tipos de conversão, as imagens dos filmes foram impressas em papel fotográfico Kodak Bromide F4 e F5.

## RESULTADOS E COMENTÁRIOS

Foram obtidas neutrongrafias de várias peças, que são mostradas nas figuras abaixo.

### 1. Conversão( $n, \alpha$ )

Figura 3a - Válvula de pressão confeccionada em latão com espessura de 2 cm

Observações - Visualização do caminho do ar e a agulha semi-aberta

Figura 3b - Parafuso tipo Allen de ferro com diâmetro de 2 cm no qual foi fixado um pedaço de fio de cobre que possui em uma de suas extremidades uma placa de cádmio.

Observações - Visualização na diferença de contraste relativa a três materiais diferentes, um orifício com 5 mm de diâmetro na parte superior do parafuso e os fios da rosca no interior da porca também de ferro.

Figura 3c - Detector Geiger-Müller

Observações - Visualização de seu anodo com diâmetro de 1 mm.

Figura 3d - Bala de revólver calibre 38

Observações - Visualização da pólvora e de seu caráter granular. Não há muita diferença de contraste entre o projétil de chumbo e o material da pólvora.

Figura 3e - Peça de Cádmio

Observações - Visualização dos orifícios separados entre si demonstrando boa resolução do sistema de colimação.

Figura 3f - Tubo de Latão com Porca de Latão Soldada

Observações - Visualização do cordão de solda com bom contraste.

### 2. Conversão( $n, \gamma$ )

Figura 4a - Motor síncrono

Observação - Visualização do rotor na carcaça de alumínio com 2 mm de espessura

- Peça de carbono

Observação - Visualização de diversos orifícios feitos na peça

Figura 4b - Válvula eletrônica

Observação - Visualização dos detalhes dos filamentos e dos pinos de fixação.

- Detector Geiger-Müller

Observação - Visualização de seu anodo com diâmetro de 1 mm.

- Materiais líquidos e plásticos encapsulados em tubo de aço de parede de espessura 1 mm

Observação - Visualização com alto contraste e detalhe dos materiais orgânicos encapsulados.

- Figura 4c - Parafuso tipo Allen de ferro com diâmetro 2 cm  
Observação - Visualização de um defeito em seu topo  
 - Tubo de latão com porca de latão soldada
- Figura 4d - Conector eletrônico tipo BNC  
Observação - Visualização de detalhes em seu interior bem como uma solda na junção do "1" e um anel de borracha na parte superior
- Figura 4e - Parte de um elemento combustível do reator nuclear IEA-R1  
Observação - Visualização das placas de alumínio que contêm o elemento físil.

Pelos resultados apresentados pode-se salientar que as neutrongrafias obtidas por ambas as técnicas de conversão não mostraram diferenças marcantes entre si em termos de definição e resolução, com a exceção de que os fios da rosca na figura 4c (n, $\gamma$ ) não são visíveis como os da figura 3b (n, $\alpha$ ).

É importante frisar que a visualização da pólvora na figura 3d e da carga da caneta e o nível de tinta na figura 4b evidenciam uma das principais características da técnica da neutrongrafia que é a investigação de materiais hidrogenados.

Uma outra importante característica dessa técnica foi demonstrada no resultado da figura 4e em que se obteve neutrongrafia de um elemento combustível radioativo.

As neutrongrafias por conversão (n, $\alpha$ ) obtidas nesse trabalho, apresentam definição e resolução inferior quando comparadas com os resultados de outros autores, reflexo da necessidade de uma melhor colimação do feixe de nêutrons e de uma otimização dos tempos de irradiação e revelação. Está sendo projetado um colimador para tal finalidade(3).

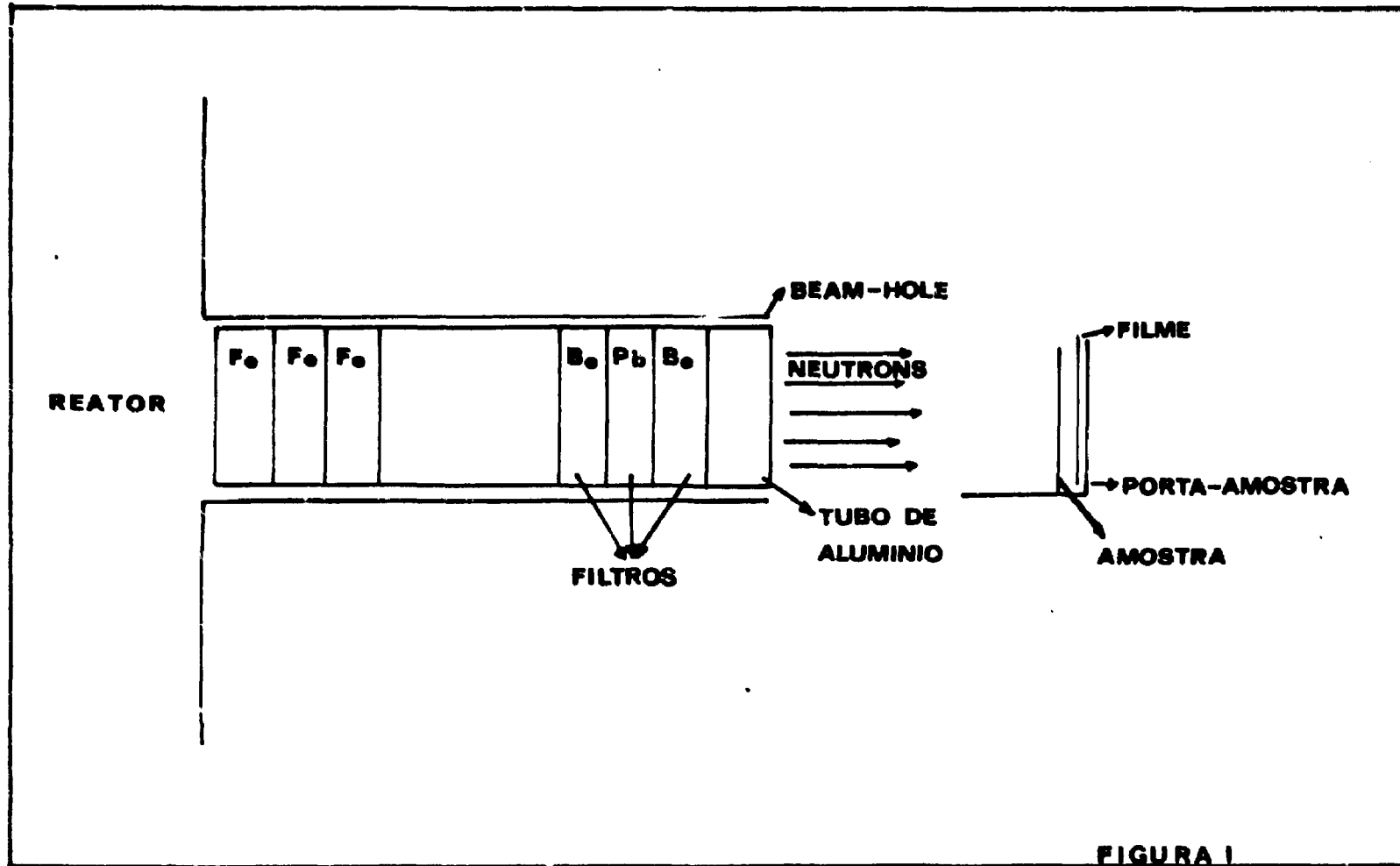
Quanto a comparação relativa às neutrongrafias por conversão (n, $\gamma$ ), pode-se concluir que é necessário uma otimização dos tempos de irradiação e de transferência uma vez que em termos de colimação o sistema apresenta características semelhantes ao empregado por outros autores que obtiveram melhores resultados(4).

A técnica de neutrongrafia vem sendo constantemente desenvolvida em muitas instituições justificada pelo crescente interesse tanto na medicina quanto na indústria para análise não destrutiva de materiais.

#### BIBLIOGRAFIA

1. H. Berger. Neutron Radiography, Methods, Capabilities and Applications. Amsterdam - Elsevier - 1965
2. R.L. Fleischer; P.B. Price; R.M. Walker. Nuclear Tracks in Solids-Principle and Applications. Berkeley Calif. University of California - 1975
3. G. Matsumoto; N. Murata; S. Suzuki; M. Matsumoto; K. Ohkubo; Y. Ikeda. Track-Etch Neutron Radiography with a New Boron Carbide Converter  
IN: Nuclear Technology 72:201-211, 1986
4. W.J. Richards; H.A. Larson. Radiography Experiments at Argonne National Laboratory  
IN: Nuclear Technology 76:408-418, 1987.

-166-



-166-

FIGURA I

-167-

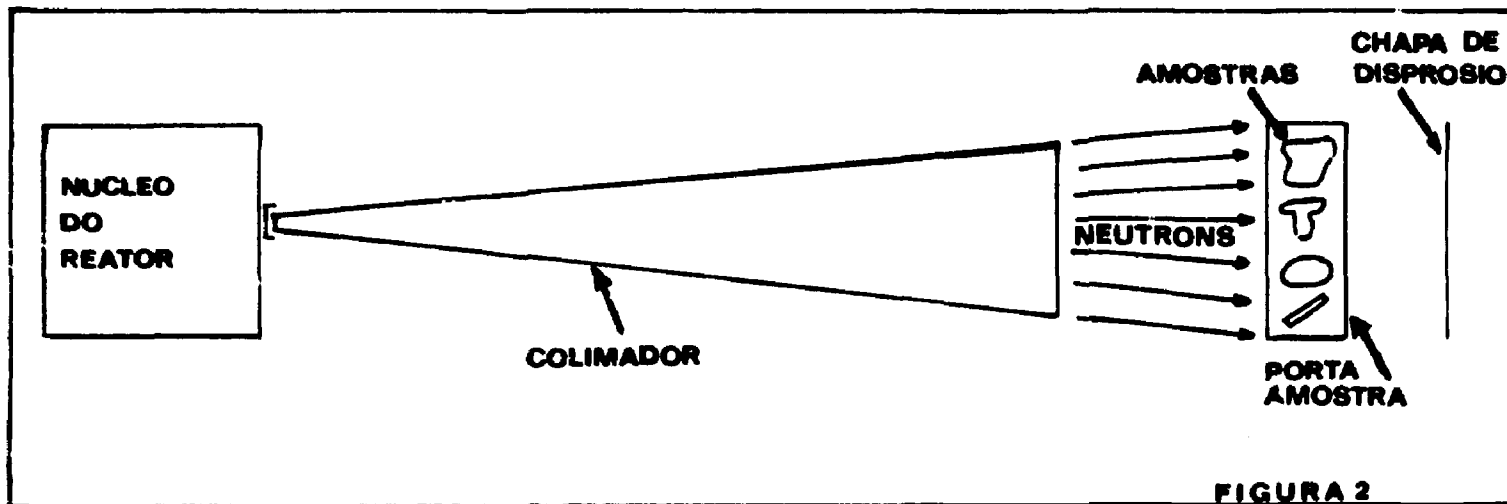
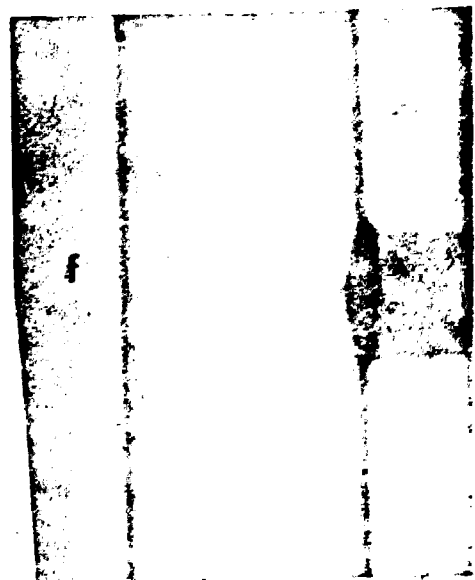
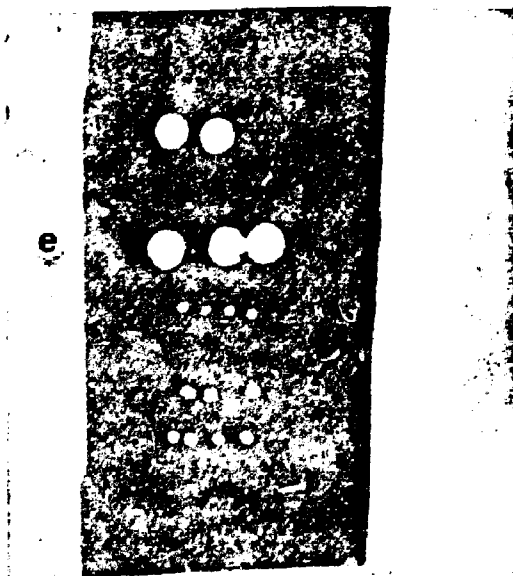
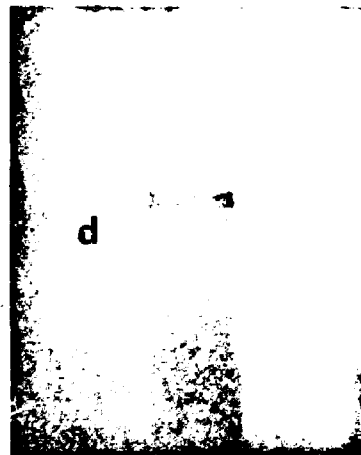
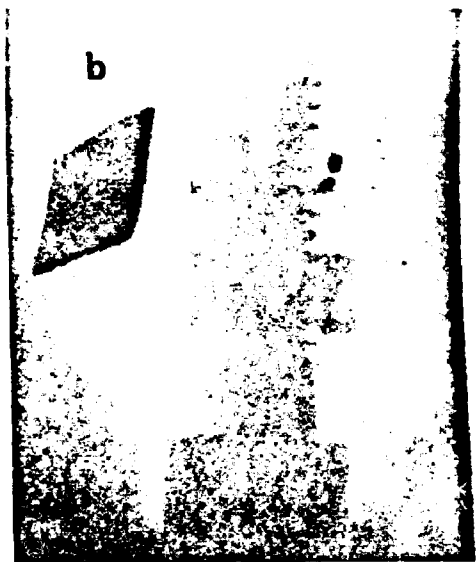
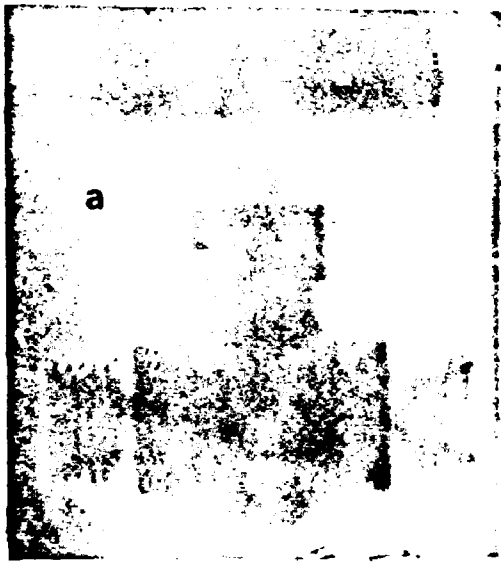


FIGURA 2

-167-



**FIGURA 3**



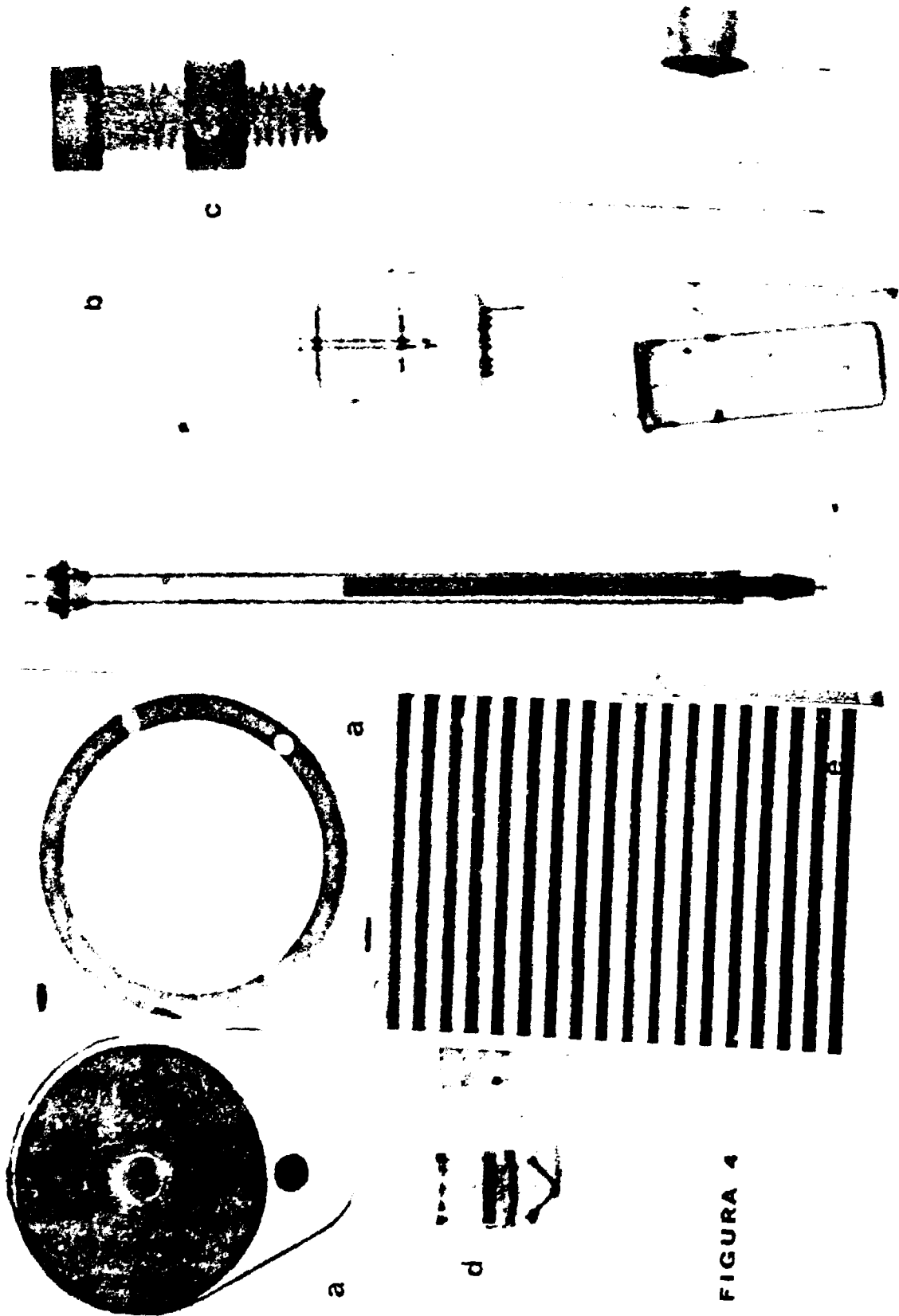


FIGURA 4

### Legenda das Figuras

1. Diagrama esquemático do arranjo experimental para obtenção de neutrongrafia por conversão(n, $\alpha$ )
  2. Diagrama esquemático do arranjo experimental para obtenção de neutrongrafia por conversão(n, $\gamma$ )
- 3a; 3b; 3c; 3d; 3e; 3f. Resultados obtidos por conversão(n, $\alpha$ )
- 4a; 4b; 4c; 4d; 4e. Resultados obtidos por conversão(n, $\gamma$ )