

CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM NEUTRONGRÁFICA PARA FILMES COM EMULSÕES DUPLA E SIMPLES

Reynaldo Pugliesi; Marcos Leandro G. Andrade

Supervisão de Física Nuclear IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049 Pinheiros
CEP 05422-970 São Paulo SP

ABSTRACT

The characteristics of neutron radiographic images, obtained by the direct conversion method with Gadolinium screen and using double coated and single coated emulsion Kodak AA films, were investigated. This study was carried out by comparing the optical density growth as a function of the irradiation time (characteristics curves), minimal discernible thickness, and resolution power, for both films and the results demonstrate a better image quality for the *sc* film. The radiographic equipment used is installed at the beam-hole 08 of the IEA-R1 Nuclear Research Reactor.

INTRODUÇÃO

A técnica da radiografia com nêutrons vem se tornando cada vez mais popular na análise não destrutiva de materiais. Dentre as suas principais aplicações destacam-se inspeções em materiais radioativos e nos ricos em hidrogênio, mesmo quando envoltos por espessas camadas de alguns metais[1]. A radiografia é feita posicionando, o material a ser inspecionado, em um feixe homogêneo de nêutrons registrando o padrão de intensidade transmitido, por meio de um sistema de registro de imagens composto por uma tela conversora e um filme, convencional de Raios-X ou um detector de traços nucleares de estado sólido. A finalidade desta tela é gerar, mediante reações nucleares, com os neutrons, radiações ionizantes capazes de sensibilizar o filme empregado.

As radiografias podem ser obtidas pelos métodos direto ou indireto. No primeiro o sistema filme-conversor é irradiado simultaneamente com a amostra e no segundo o conversor é ativado no feixe e a imagem radioativa é posteriormente transferida ao filme em um ambiente de câmara escura[1].

Dentre os fatores que contribuem para a formação da imagem radiográfica e que afetam a sensibilidade da técnica, estão aqueles referentes às características dos filmes empregados.

O objetivo do presente trabalho foi o de estudar estas contribuições para radiografias obtidas pelo método direto em filmes convencionais de Raios-X com emulsão dupla(*dc*) e simples(*sc*).

PARTE EXPERIMENTAL

O equipamento radiográfico empregado está instalado no canal de irradiação número 08 do Reator Nuclear de Pesquisas IEA-R1. As características principais do feixe de nêutrons incidente na amostra são as seguintes: fluxo térmico 3.10^6n/s.cm^2 ; razão nêutron/gama $\sim 5.10^5 \text{n/mrem.cm}^2$; diâmetro 20 centímetros[2].

As radiografias foram obtidas pelo método direto com conversor de Gadolínio e o filme utilizado foi o Kodak-AA. Este originalmente é de emulsão dupla(*dc*), as quais são depositadas em ambos os lados de uma base plástica, com espessuras de alguns microns e $200\mu\text{m}$ respectivamente. Aqueles com emulsão simples(*sc*) foram obtidos a partir destes e mediante a sua imersão em uma solução fixadora, em um dispositivo apropriado que permite a remoção de apenas uma das camadas do filme original. O tempo de imersão foi de 5 minutos à uma temperatura de 25°C .

As irradiações foram realizadas em intervalos de tempo entre 30 e 300 segundos, com o sistema filme-conversor mantido em firme contato em um porta-amostras de alumínio, e nesta ordem em relação ao feixe de nêutrons. Os filmes foram revelados mediante um procedimento padrão e o seu grau de enegrecimento, ou seja a densidade ótica $Dop(\log I_0/I$ sendo I_0 e I as intensidades de luz incidente e transmitida pelo filme respectivamente), foi avaliada mediante o emprego de um densitometro ótico que permite leituras entre $0 \leq Dop \leq 5$ com precisão $\Delta Dop = 0,05$.

Com a finalidade de avaliar as contribuições de ambos os filmes à formação das imagens, foram estudados para cada um:

Curvas Características: Estas curvas relacionam valores de densidade ótica Dop em função do tempo de irradiação ao feixe de nêutrons.

A Dop total dos filmes é formada pelas seguintes contribuições:

- 1-elétrons de conversão EC(70Kev) e radiações-gama de energia similar, oriundas do conversor de Gadolínio
- 2-radiações-gama presentes no feixe de nêutrons
- 3-fundo ótico intrínseco dos processos de fabricação e de armazenagem dos filmes.

Destes itens, apenas o 1 contribue para a formação da imagem. Para o *sc* as irradiações foram feitas de modo que a emulsão permanecesse voltada ao Gadolínio e nesta condição de acordo com a literatura[3], 72% da densidade ótica da imagem é formada pelos EC e os restantes 28% pela radiação-gama. Para o *dc* a imagem é formada principalmente na emulsão voltada ao conversor pois os EC não possuem energia suficiente para atingir a mais distante, esta última apenas sensibilizada por parte da radiação-gama gerada e portanto responsável por uma pequena parcela da imagem.

Os itens 2 e 3 contribuem somente para uma elevação da densidade ótica de fundo e obviamente para *dc* esta será maior.

Os filmes, foram cortados em tiras de dimensões 3×1 centímetros e um *dc* e um *sc* irradiados simultaneamente no mesmo intervalo de tempo. Na figura 1 são apresentados os valores de Dop total para ambos bem como retas ajustadas, pelo método dos mínimos quadrados, aos pontos experimentais. Mediante os resultados obtidos pode-se constatar que a emulsão mais distante do conversor coopera de modo à tornar o *dc* 40% mais rápido e, com um fundo ótico 50% maior do que o *sc*. Além disto verificou-se experimentalmente que no *sc* a imagem é formada, 75% por EC e 25% por radiação-gama, muito próximo do valor da literatura, e que para o *dc* e utilizando o mesmo procedimento, estes valores valem 56% e 44% respectivamente.

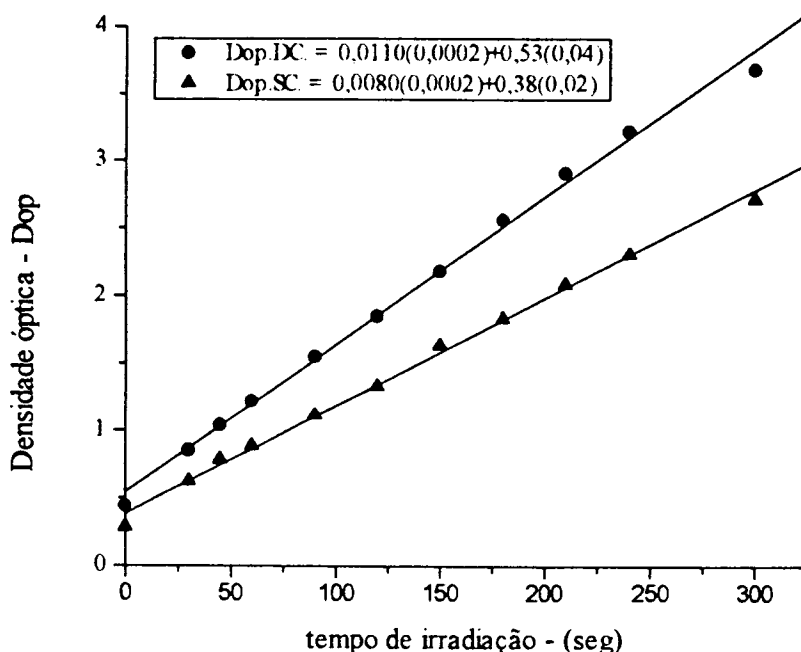


Figura 1 Curvas características obtidas para os filmes Kodak AA com emulsão dupla *dc* e emulsão simples *sc*.

Espessura mínima discernível(Δx): este valor foi determinado a partir de curvas de densidade ótica em função da espessura "x", para os materiais ferro, cobre e lucite, e calculado pela expressão[4]:

$$\Delta x = 0,434 \cdot \frac{\Delta Dop}{Dop(fd) \cdot \Sigma}$$

sendo:

ΔDop - precisão de leitura do densitômetro ótico

$Dop(fd)$ - densidade ótica do feixe direto

Σ - inclinação das retas ajustadas aos pontos experimentais(min. quadrados)

As amostras utilizadas tem o formato de escadas, cujos degraus possuem espessuras que variam de 0,2 à 1,2 centímetros. As irradiações foram feitas fixando-as junto ao porta-amostras de alumínio e por um intervalo de tempo, de 200 segundos para o *dc* e de 300 segundos para o *sc*, suficiente para se obter no feixe direto(sem amostra) $Dop(fd) \sim 3$. Na figura 2 está apresentada a curva obtida para o lucite e na tabela I os resultados calculados para Δx para os três materiais. Estes demonstram que o *sc* é capaz de discernir espessuras até 25% menores do que o *dc* e isto é explicado pelo fato de o primeiro por possuir uma única camada de emulsão é menos vulnerável aos processos citados nos itens 2 e 3 conduzindo-o à uma densidade ótica de fundo 50% menor.

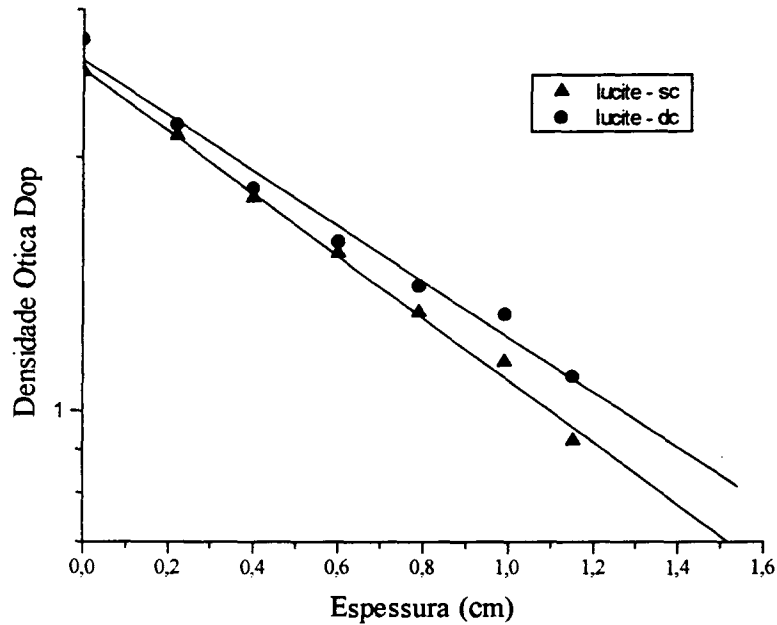


Figura 2 Comportamento da densidade ótica em função da espessura de lucite

Tabela 1 - Valores Obtidos para as Espessuras Mínimas Discerníveis

material	esp.min- Δx (cm)-sc	esp.min- Δx (cm)-dc
Ferro	0,043 \pm 0,001	0,053 \pm 0,003
Cobre	0,041 \pm 0,001	0,046 \pm 0,001
Lucite	0,024 \pm 0,001	0,028 \pm 0,002

Poder de resolução: A resolução total U_t de um equipamento radiográfico é definida como a distância mínima que separa dois objetos de modo a serem distinguidos. Este parâmetro que afeta a qualidade da imagem é oriundo das características do sistema filme-conversor (resolução intrínseca- U_i) e da divergência angular do feixe de nêutrons (resolução geométrica- U_g).

A sua determinação foi feita mediante varreduras de densidades óticas, realizadas com o auxílio de um microfotômetro, na região de interface correspondente à duas imagens radiográficas: a primeira de um objeto opaco à nêutrons (lâmina de gadolínio de espessura 0,127mm) colocada no interior do porta-amostras de alumínio e a segunda referente ao feixe direto. À distribuição resultante foi ajustada, pelo mesmo método utilizado anteriormente, a função:

$$R = A + B \cdot \arctan(C \cdot z + D)$$

sendo A, B, C, D parâmetros livres do ajuste e z a coordenada de posição da varredura [4]. Como neste caso $U_g = 0$ pois a lâmina está posicionada junto ao sistema filme-conversor, a resolução total terá a contribuição da intrínseca somente, e será dada por $U_i = 2/C$.

As irradiações foram realizadas em intervalos de tempo de 120 e de 240 segundos para o *dc* e para o *sc* respectivamente, de modo a manter a densidade ótica para o feixe direto próxima ao valor 2, pois este é o limite superior imposto pelo microfotômetro utilizado. Na figura 3 estão apresentadas as varreduras obtidas para ambos os filmes, a função ajustada e os valores das resoluções. Comparando os resultados pode-se observar que a resolução para o *sc* é 15% melhor que a do *dc* e isto pode ser explicado considerando que para este filme existem duas imagens contribuindo na resolução; uma formada por EC e radiação-gama na emulsão que está mais próxima do conversor e outra bem mais tênue formada exclusivamente pela radiação-gama, na emulsão posicionada à uma distância de 200 μ (base plástica). Esta base espalhando a radiação, contribuirá para um aumento do efeito da paralaxe entre as imagens formadas em ambas as emulsões.

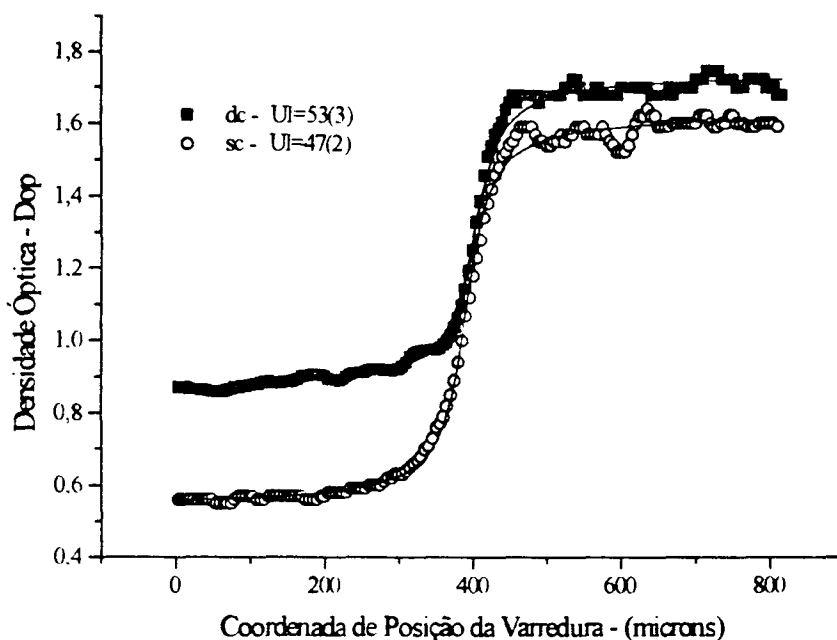


Figura 3 - Distribuição de densidade ótica da radiografia de uma lâmina de Gadolínio situada junto ao sistema filme-conversor, tempo de irradiação 120s Kodak AA *dc* e 240s Kodak AA *sc*.

CONCLUSÃO

De acordo com os dados obtidos pode-se concluir que radiografias obtidas pelo método direto de conversão com tela conversora de Gadolínio e com o filme Kodak AA *sc* apresentaram, em relação ao Kodak AA *dc*, uma capacidade para discernir espessuras e poder de resolução de até 25% e 15% superiores respectivamente. Estes fatos devem-se exclusivamente à contribuição da camada de emulsão situada mais distante do conversor pois: 1) na formação da densidade ótica total do filme coopera basicamente no sentido de elevar o seu fundo ótico diminuindo assim a sua sensibilidade; 2) por estar separada da primeira camada, formará a mesma imagem à uma distância cerca de 200 μ m desta acarretando uma piora na resolução da imagem.

REFERÊNCIAS

- [1] HAWKESWORTH, M.R. Neutron Radiography: Equipments and methods. Atom. Energy Rev., 152; 169-220, 1977
- [2] PUGLIESI, R.; MENEZES, M.O; ASSUNÇÃO, M.P.M. Detection of Aluminum Corrosion Products by Neutron Radiography. Int. J. Radiat. Appl Instrum. Part A, 43(5):663-665, 1992
- [3] HARMS, A.A.; BLAKE, T.G.; MARTON, J.P. Neutron Imaging Thin Gadolinium Converters. Nuc Inst. and Meth. 109: 253-55, 1973
- [4] C.E.C. P. Neutron Radiography Handbook. D. Reidel Publis. Company 1981 Editors P.von DER HARDT; H.ROETTGER