

CARACTERIZAÇÃO DO CONJUNTO FILME-CONVERSOR KODAK-MinR PARA RADIOGRAFIA COM NÊUTRONS

R. Pugliesi; M.L.G. Andrade; M.O. de Menezes; M.A.S. Pereira.

Supervisão de Física Nuclear IPEN-CNEN/SP
Caixa Postal 11049 Pinheiros
05508-990 São Paulo-SP
e-mail: mario@baitaca

RESUMO

Foram estudadas algumas das características do conjunto filme-conversor denominado Kodak-MinR, empregado em mamografia por raios-X, para fins de radiografia com nêutrons. Os resultados obtidos foram comparados com aqueles correspondentes ao conjunto gadolínio metálico-KodakAA comumente utilizado em radiografia com nêutrons e demonstraram que sua velocidade é aproximadamente 6 vezes maior, seu contraste é 1,7 vezes menor e sua resolução é similar e vale cerca de $52\mu\text{m}$. Estas características o qualificam como mais uma alternativa viável na obtenção de radiografias em fontes de baixo fluxo de nêutrons ($< 10^5 \text{n/s.cm}^2$).

INTRODUÇÃO

O processo para a obtenção de uma radiografia com nêutrons é basicamente similar ao empregado em radiografia com raios-X, onde um feixe de nêutrons incide na amostra em inspeção e a intensidade transmitida é registrada por meio de um conjunto filme-conversor. Os conversores são confeccionadas a partir de elementos absorvedores de nêutrons (Gd, Dy, B, Li), cuja finalidade é transformar a radiação neutrônica em outra ionizante capaz de sensibilizar o filme [1].

O conjunto MinR foi desenvolvido, pela firma Kodak, para a obtenção de mamografias pela técnica da radiografia com raios-X. Este é composto por uma tela conversora cintiladora, a base de oxissulfeto de gadolínio, associada a um filme denominado MinR para o registro da imagem [2]. O raio-X incidindo no conversor gera elétrons (efeito Compton e foto-elétrico) e estes por meio de ionizações e excitações geram cintilações nesta tela as quais sensibilizarão o filme. Uma parte da sensibilização é gerada também pelos raios-X que incidem diretamente no filme [3].

Ao se empregar este conjunto em radiografia com nêutrons a cintilação será gerada por meio de uma reação nuclear de captura pelo núcleo de gadolínio, o qual excitado decairá emitindo radiações- γ e elétrons de conversão, com energia média de 70keV [1]. O presente trabalho tem por objetivo determinar as características deste conjunto filme-conversor, quando utilizado em

radiografia com nêutrons, e comparar estes resultados com aqueles obtidos para o conjunto filme-conversor que utiliza gadolínio metálico e o filme KodakAA, comumente empregado nesta técnica de radiografia.

OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

O equipamento radiográfico está instalado junto ao canal radial de irradiação-08 do reator nuclear de pesquisas IEA-R1 no IPEN-CNEN/SP e as suas principais características estão mostradas na tabela 1.

TABELA 1. Principais características do feixe de nêutrons extraído do equipamento radiográfico[4].

Fluxo na amostra	$\sim 3 \times 10^6 \text{n/s.cm}^2$
Razão n/ γ	$> 5 \times 10^5 \text{n/cm}^2.\text{mRem}$
Razão de colimação	60
Diâmetro útil de feixe	20cm

As irradiações foram realizadas utilizando um chassis (original da Kodak para mamografia) no interior do qual o filme e a tela conversora, e nesta ordem em relação ao feixe de nêutrons, são mantidos em um firme contato. Os tempos de irradiação variaram entre 5 e 60 segundos e os 20 filmes utilizados foram revelados durante 20

segundos em um processador automático a uma temperatura constante de 50°C.

Nestas condições tempo necessário para a revelação, fixação e secagem destes filmes foi de aproximadamente 1 minuto.

O nível de enegrecimento dos filmes [1] é a sua densidade ótica definida na equação (1):

$$Dop = \log (I_0/I) \quad (1)$$

sendo I_0 e I as intensidades de luz incidente e transmitida pelo filme respectivamente. Os valores de Dop foram determinados fixando os filmes revelados em um negatoscópio ótico comum e as leituras de transmissão de luz foram obtidas por meio de um densitômetro ótico de marca Konica com precisão $\Delta Dop = \pm 0,05$.

As características estudadas para este conjunto filme-conversor foram as seguintes:

velocidade relativa: este parâmetro quantifica, em relação a outros conjuntos filme-conversor, a rapidez de enegrecimento do filme-"Dop" em função da exposição " E (n/cm^2)" ao feixe de nêutrons. O gráfico de $Dop \times E$ é denominado curva característica. Os dados experimentais foram determinados mediante a irradiação de diversas tiras de filmes em tempos que variaram entre 5 e 60 segundos, que corresponde a exposições no intervalo entre $1,5 \times 10^7 < E < 2 \times 10^8 n/cm^2$. A curva obtida está mostrada na figura 1. A densidade ótica de fundo destes filmes é $\sim 0,2$ e para 5 segundos de irradiação $Dop \sim 0,8$.

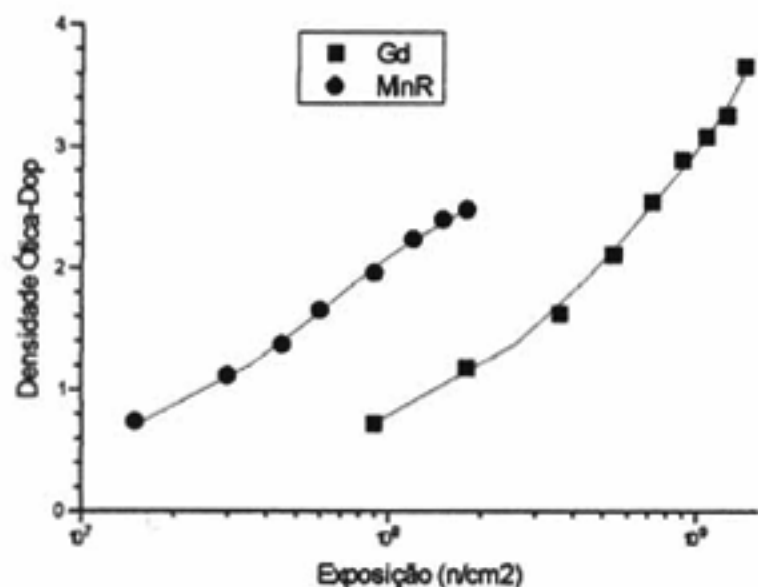


Figura 1. Curvas Características para os conjuntos MinR e Gd-metálico

Nesta mesma figura está também mostrada a curva previamente obtida, para o conjunto filme-conversor de gadolínio metálico (100 μ m) com o filme KodakAA, no mesmo arranjo experimental [4]. Neste caso a densidade ótica de fundo é $\sim 0,3$ e somente para 30 segundos de irradiação $Dop \sim 0,8$. Desta forma o sistema MinR mostrou ser 6 vezes mais rápido do que aquele que utiliza gadolínio

metálico e esta relação de velocidades é praticamente mantida em todo o intervalo de exposição, conforme apresentado na figura 1. Dentre os motivos responsáveis por esta maior velocidade está o tamanho dos grãos de prata na emulsão do filme do sistema MinR os quais, como observado ao microscópio, são pelo menos duas vezes maiores do que aqueles do KodakAA.

contraste: o contraste ótico para ambos os conjuntos filme-conversor foi determinado a partir do ajuste da equação (2) à porção linear mais íngreme de sua curva característica.

$$G = dDop/d(\log E) \quad (2)$$

Na figura 1 estão mostradas as porções lineares as quais correspondem aos seguintes intervalos de exposição:

$$\begin{aligned} \text{MinR} &- 3 \times 10^7 < E < 2 \times 10^8 n/cm^2 \\ \text{Gd metálico} &- 3 \times 10^8 < E < 1,5 \times 10^9 n/cm^2 \end{aligned}$$

Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 2 e demonstram que o conjunto MinR exibe um contraste 1,7 vezes menor, o que pode ser explicado levando em conta o tamanho dos grãos de prata em cada emulsão. Quanto maior for o tamanho grão, maior será a probabilidade de uma radiação ionizante atingir um grão já sensibilizado. Isto conduz a um aumento mais lento da densidade ótica, em função da exposição, e portanto do contraste.

Baseado nos resultados obtidos pode-se concluir que o conjunto MinR é cerca de duas vezes menos sensível, em relação ao que utiliza gadolínio metálico pois, conforme a equação (3), a espessura mínima discernível para um material é inversamente proporcional ao contraste ótico [5].

$$\Delta x \propto 1/G \quad (3)$$

resolução: em radiografia a resolução é definida como a menor distância distinguível entre dois objetos. Neste trabalho este parâmetro foi determinado mediante a varredura da imagem de uma placa teste de oxissulfeto de gadolínio (0,1mm) que foi auto-radiografada, por um intervalo de tempo de 20 segundos, em firme contato com o filme. Esta varredura foi realizada em um microfotômetro ótico (marca Jarrel-Ash) que possui um feixe de luz com largura 5 μ m. À distribuição de densidade ótica resultante, foi ajustada, pelo método dos mínimos quadrados, uma função do tipo:

$$ESF = A + B * \arctan (C^{1/2}(X-D)) \quad (4)$$

onde A , B , C , e D são parâmetros livres e X é a coordenada de varredura [6]. O ajuste obtido está apresentado na figura 2. A resolução é usualmente determinada em termos do parâmetro denominado *total unsharpness*- U_t que é a largura total à meia altura da

diferencial da função ESF, que é uma distribuição de Lorentz, e $U_t = 2.C^{-1/2}$. A *total unsharpness* resulta do efeito combinado da *intrinsic unsharpness*- U_i (do conjunto filme-conversor) e da *geometrical unsharpness*- U_g (da divergência angular do feixe de nêutrons) [1] e estas são relacionadas pela equação (5):

$$(U_t)^n = (U_i)^n + (U_g)^n \quad (5)$$

Nesta auto-radiografia a placa teste permanecendo em firme contato com o filme faz com que $U_g = 0$ e através da equação (5):

$$U_t = U_i = 2 * C^{-1/2} \quad (6)$$

O resultado obtido foi comparado com aquele correspondente ao conjunto que utiliza gadolínio metálico, que apresenta excelente resolução intrínseca [4] (vide figura 2 e tabela 2). Um dos principais motivos da elevada resolução do conjunto MinR é a insensibilidade de seu filme à radiação- γ , que está presente no feixe de nêutrons, a qual propicia um fundo ótico pequeno o que eleva o seu poder para discernir bordas.

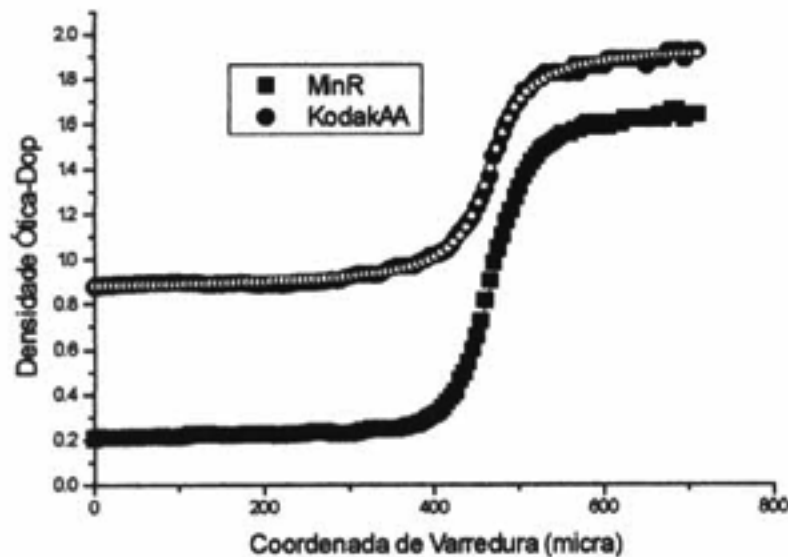


Figura 2. Distribuição da densidade ótica em função da coordenada de varredura para os sistemas MinR e Gd-metálico.

Tabela 2. Valores comparativos referentes aos sistemas filme-conversor estudados

Conjunto	vel.rel.	cont	res(μ m)
MinR	6	2,1	52 ± 2
Gd metál.	1	3,5	60 ± 2

CONCLUSÃO

De acordo com os dados obtidos, o conjunto filme-conversor Kodak-MinR demonstrou ser viável para a

obtenção de radiografias com nêutrons. Sua principal desvantagem, em relação ao conjunto que utiliza conversor de gadolínio metálico com o filme KodakAA, é a sua menor sensibilidade para discernir espessuras. Entretanto a sua velocidade elevada, e a excelente resolução o tornam mais um sistema viável para a obtenção de radiografias em fontes com baixo fluxo de nêutrons.

REFERÊNCIAS

- [1] Hawkesworth, M.R. and Walker, J. **Review: Radiography with Neutrons.** Journal of Materials Sciences, 4:817-835, 1974.
- [2] Markets Division. Eastman Kodak Company. **Radiography in Modern Industry.** Rochester, New York, 1969.
- [3] Bryant, L.E. and McEntire, P. 2nd ed. **Radiography and Radiation Testing.** American Society for Nondestructive Testing (Nondestructive Testing Handbook), 1985.
- [4] Menezes, M.O.de. **Desenvolvimento e Aplicação da Técnica da Radiografia com Nêutrons por Conversão Direta e Indireta.** Dissertação de Mestrado. IPEN-CNEN/SP, 1994.
- [5] Hardt, P.von Der and Roettger, H. **Neutron Radiography Handbook: Nuclear Science and Technology.** Dordrecht, D. Reidel, 1981.
- [6] Wrobel, M. and Greim, L. **Resolution Functions and Unsharpness in Neutron Radiography.** Geesthacht, German, GKSS, (GKSS 88/e/12), 1988.