

Aplicação da Técnica da Radiografia com Nêutrons para Análise de Materiais

Professor Responsável
Reynaldo Pugliesi

Participantes
Richard Maximiliano C. da Silva(UEL), Antônio Carlos F. dos Santos(PUC/RJ), Ademir Xavier da Silva(COPPE/UFRJ), Luiz V.G.Tarelho(IPEN-CNEN/SP)

RESUMO

Foram apresentados os conceitos básicos referentes à interação dos nêutrons com a matéria de modo a se ter uma visão dos fundamentos da técnica da radiografia com nêutrons. Além disto foram abordados alguns aspectos práticos desta técnica quanto as fontes de nêutrons disponíveis e alguns detalhes sobre a construção de um equipamento para esta finalidade. Foi também apresentada uma noção a respeito do processamento de imagens digitais e demonstrada a sua eficácia para se obter uma melhoria na qualidade das imagens obtidas diretamente nos filmes.

Foram também realizados diversos experimentos com a finalidade de se determinar alguns dos parâmetros mais importantes que caracterizam um equipamento radiográfico tais como: curva característica, sensibilidade e resolução da técnica.

INTRODUÇÃO

A técnica da radiografia com nêutrons vem sendo comumente utilizada na análise não destrutiva de materiais. As características dos processos de interação entre os nêutrons e a matéria atribuem à esta técnica características únicas as quais expandem e complementam os campos de aplicação das convencionais que empregam raios-X e raios-gama(1,2). Dentre as suas diversas aplicações destacam-se inspeções em materiais: altamente radioativos (componentes de reatores nucleares); hidrogenados (explosivos, produtos de corrosão, resíduos orgânicos etc)(3).

A radiografia é feita colocando o material em estudo em um feixe homogêneo de nêutrons e a intensidade por ele transmitida, a qual depende de sua secção de choque total macroscópica, é registrada por um sistema composto por uma tela conversora e um filme. Este último podendo ser os mesmos utilizados em radiografias com raios-X ou os detectores de traços nucleares de estado sólido(4,5). As fontes de nêutrons mais utilizadas para esta finalidade são sem dúvida, pela intensidade disponível, os reatores nucleares de pesquisa, seguida pelos aceleradores e fontes radioisotópicas(1).

Muito embora as imagens radiográficas obtidas diretamente nos filmes apresentem contraste e resolução suficientes para a grande maioria das aplicações, a utilização de softwares para o processamento de imagens digitais tem colaborado para uma melhora significativa na qualidade dos resultados(6).

O equipamento radiográfico utilizado neste curso está instalado no canal de irradiação 08 do Reator Nuclear de Pesquisas IEA-R1e possui as seguintes características:

fluxo de nêutrons na amostra $\sim 3 \times 10^6 \text{ n/s.cm}^2$
razão n/gama $> 5 \times 10^5 \text{ n/cm}^2.\text{mrem}$
energia média do espectro de nêutrons: 3meV
diâmetro útil=20cm

As aulas teóricas abordaram os seguintes tópicos: Generalidades da Técnica da Radiografia com Nêutrons; Equipamentos radiográficos do IPEN-CNEN/SP; Trabalhos em andamento no IPEN-CNEN/SP; Aspectos básicos do

processamento de imagens digitais; Aplicações Gerais; Futuros Desenvolvimentos.

Na parte experimental os alunos realizaram algumas radiografias para a determinação dos seguintes parâmetros fundamentais que caracterizam um equipamento radiográfico e um conjunto filme-conversor:

- curva característica para o conjunto conversor Gadolínio-Kodak AA
- sensibilidade da técnica para alguns tipos de materiais
- resolução máxima da técnica radiográfica

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

-Curva Característica: esta curva relaciona o comportamento da densidade ótica $D(D=\log(I_0/I))$ sendo I_0 e I as intensidades de luz incidentes e transmitidas pelo filme) em função da exposição $E(\phi.t$ sendo ϕ e t o fluxo de nêutrons e t o tempo de irradiação respectivamente) ao feixe de nêutrons.

Diversas tiras do filme Kodak-AA foram fixadas no interior de um cassette de alumínio juntamente com o conversor de Gadolínio. Este conjunto foi irradiado nos seguintes intervalos de tempo: 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, e 8 minutos. Em seguida os filmes foram revelados por um processo padrão e as leituras de densidade ótica obtidas por meio de um negatoscópio comum e de um densitômetro ótico com precisão de leitura $\Delta D=0,05$. Os resultados obtidos estão apresentados na figura 1.

-Sensibilidade: a sensibilidade da técnica foi avaliada em termos da espessura mínima discernível para os materiais lucite e ferro. As amostras tem o formato pequenas cunhas com degraus com espessuras que variavam entre 0,2 e 1cm. As irradiações foram realizadas fixando-as, na parte externa do cassette no interior do qual o conjunto filme-conversor é mantido em firme contato durante a irradiação. O tempo de irradiação de 3 minutos foi escolhido pois no intervalo de $0 < t < 3$ existe uma relação linear entre "D e t" desejável para esta finalidade. Após a revelação foram feitas as leituras de densidade ótica, da mesma forma citada

anteriormente e, seu comportamento em função da espessura está mostrado na figura 2.

-Resolução: a resolução de uma imagem radiográfica é definida como a menor distância distinguível entre dois objetos. Esta foi determinada mediante a varredura da imagem de uma placa de gadolínio irradiada em firme contato com o conjunto filme-conversor. Esta condição de irradiação é necessária para se ter a resolução máxima evitando a sombra na imagem radiográfica devida a divergência angular do feixe de nêutrons. As leituras de densidade ótica desta varredura foram obtidas por meio de um microfotômetro ótico e a partir desta distribuição o valor da resolução máxima da técnica é determinado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

-curva característica: de acordo com os resultados mostrados na figura 1, o filme Kodak-AA apresentou um fundo ótico intrínseco $D=0,3$, e o valor mais elevado obtido para a densidade ótica (8 minutos de irradiação) foi $D \sim 4$ que corresponde a uma transmissão de luz, pelo filme, de $1/10.000$.

A região linear entre $D \sim t$ ocorre até a exposição 7.10^8 n/cm^2 que corresponde a um tempo de irradiação de 4 minutos.

-sensibilidade: a sensibilidade da técnica foi determinada em termos de espessuras mínimas discerníveis. Teóricamente a transmissão de nêutrons pela matéria obedece a uma lei exponencial do tipo:

$\phi = \phi_0 \cdot \exp(-\Sigma_t \cdot x)$ onde ϕ e ϕ_0 são os fluxos de nêutrons incidente e transmitido, por uma amostra de espessura "x" e secção de choque macroscópica total Σ_t .

No caso em que $D \propto \phi_0 \cdot t$, esta equação pode ser escrita como:

$$D = D_0 \cdot \exp(-\Sigma_t \cdot x)$$

que por derivação fornece a espessura mínima discernível:

$$\Delta x = \Delta D / (D \cdot \Sigma_t).$$

Na prática a imagem é observada em um filme o qual contém, contribuições devido a radiação- γ do feixe de nêutrons e da ativação do material em estudo, do fundo ótico intrínseco do próprio filme. Neste caso Σ_t deve ser interpretada como Σ_{eff} . Sua determinação foi feita ajustando aos pontos experimentais de $\ln(D)_{\text{vs}x}$, figura 2, uma função linear cujo coeficiente angular é o parâmetro procurado. Os valores encontrados foram:

$$\Sigma_{\text{eff}}=0,51(\text{lucite}) \text{ e } \Sigma_{\text{eff}}=0,36(\text{ferro}) \text{ e}$$

para as espessuras mínimas discerníveis:

$$\Delta x=737\mu(\text{lucite}) \text{ e } \Delta x=868\mu(\text{ferro})$$

Resolução: À distribuição dos valores de densidade ótica em função da coordenada de varredura, foi ajustada uma função do tipo " $D=A+B.\arctan(C^{1/2}.x+D)$ " onde: A, B e C são parâmetros livres e "x" e a coordenada de varredura(4). O resultado deste ajuste esta apresentado na figura-3. A resolução "U" é usualmente determinada em termos da largura total a meia altura da diferencial desta função, que é uma distribuição de Lorentz, e $U=2.C^{1/2}$. O valor encontrado para a resolução máxima foi $U=68\mu$, o qual é compatível com o valor previsto teóricamente(2).

Aplicação: Como aplicação da técnica da radiografia com nêutrons optamos por uma não comumente divulgada. Trata-se da inspeção de dentes de seres humanos os quais foram submetidos a uma broca laser experimental. Os primeiros resultados obtidos foram satisfatórios e serão otimizados, de modo a se auxiliar o desenvolvimento desta nova técnica de tratamento dentário.

Além disto os alunos presenciaram o processamento de algumas imagens digitais e constataram que esta técnica melhora significativamente a qualidade das imagens obtidas diretamente nos filmes radiográficos.

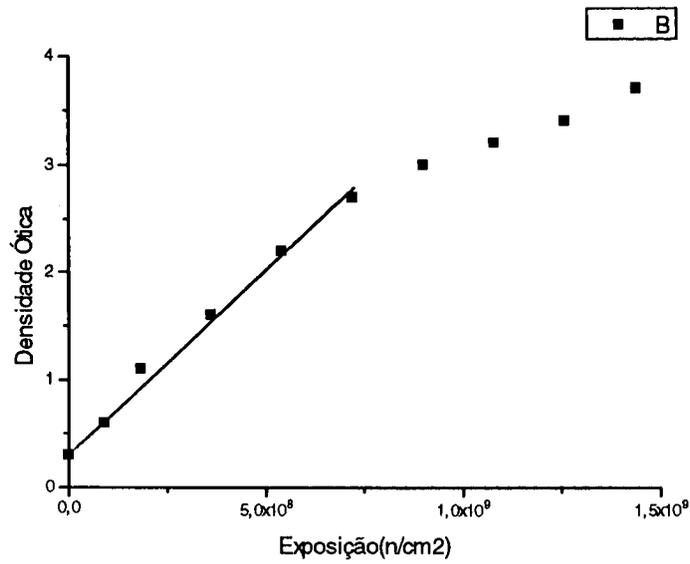


Figura-1. Curva característica para o sistema Kodak-AA/Gadolínio

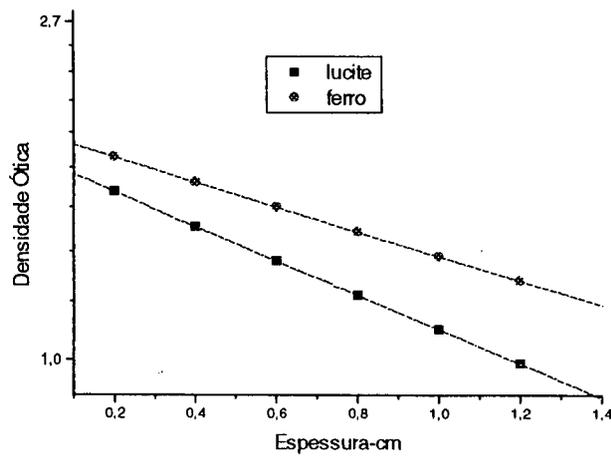
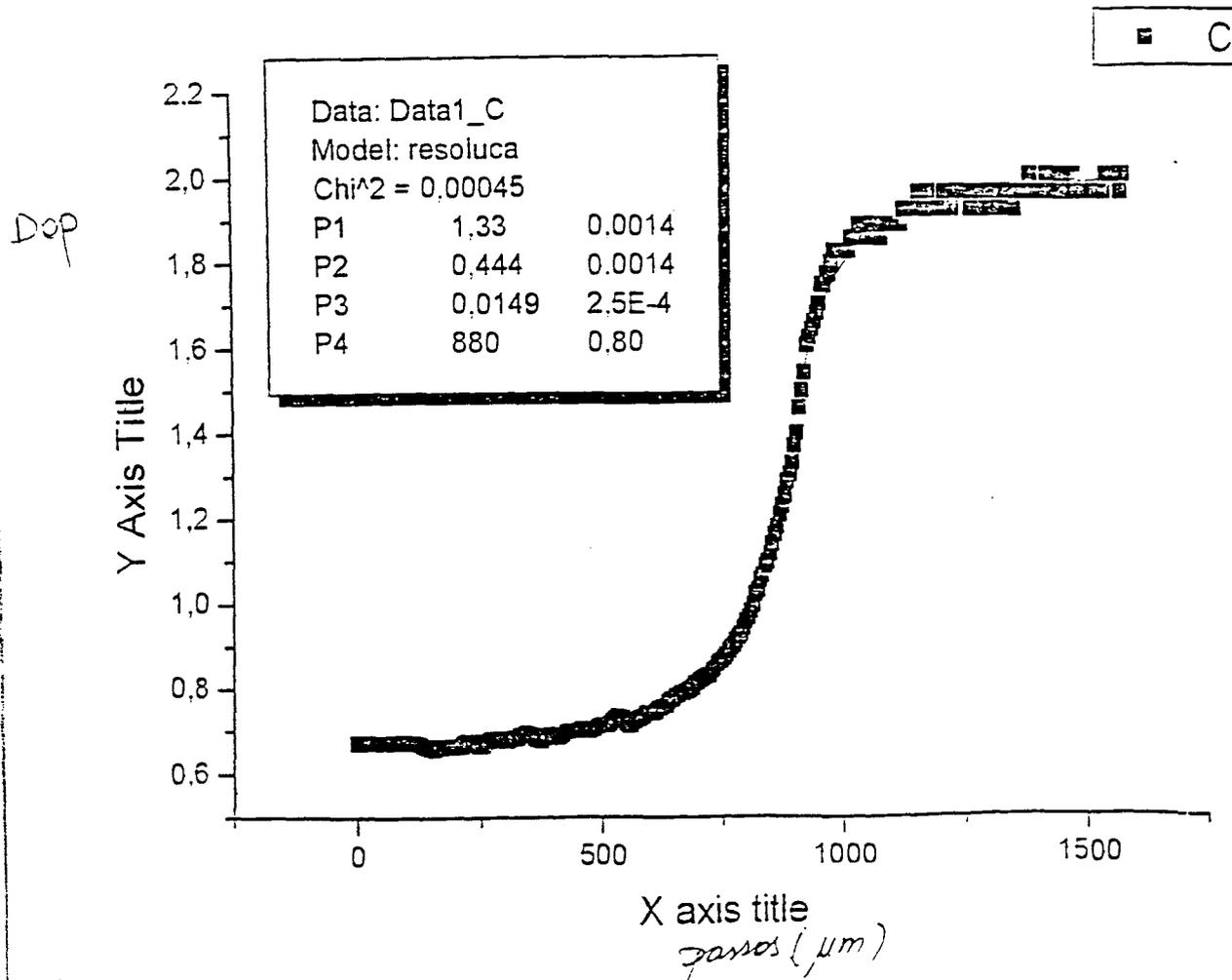


Figura-2. Variação da densidade ótica em função da espessura dos materiais lucite e ferro

Figura-3. Comportamento da densidade ótica em função da coordenada de varredura



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1-M.R.Hawkesworth; J.Walker. Review: Radiography with Neutrons. Journal of Materials Science 4(1969) 817-835

2-H.Berger. Neutron Radiography, Methods Capabilities and Applications. Amsterdam, Elsevier- 1965

3-M.R.Hawkesworth. Neutron Radiography: Equipment and Methods. Atomic Energy Review 15,2(1977)

4-M.P.M.Assunção; R.Pugliesi; M.O. de Menezes. Study of the Neutron Radiography Characteristics for the Solid State Nuclear Track Detector Makrofol-E. Appl.Radiat. Inst. vol45 n8 pp851-855 1994

5-Matsumoto G; Murata N; Suzuki S; Matsumoto M; Ohkubo K; Ikeda Y. Track-etch Neutron Radiography with a New Boron Carbide Converter. Nuclear Technology,72:201-11, 1986

6-Gonzales R.C.; Woods R.E. Digital Image Processing. Addison-Wesley Pub Co. Reading MA EUA, 1992,716p