

o autor apresentou os Anais originais
47191

RADIOGRAFIA COM NÊUTRONS: APLICAÇÃO NA INSPEÇÃO
DE MATERIAIS HIDROGENADOS

IPEN-DOC-3409

Reynaldo Pugliesi e Marlete P.M. Assunção

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR-SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05499 - São Paulo - Brasil

DEVOLVER AO BALÇÃO DE EMPRESTIMO
COLEÇÃO PTC

RESUMO

A técnica da radiografia com nêutrons foi empregada para demonstrar qualitativamente a sua viabilidade relativa à inspeção de materiais hidrogenados.

O arranjo experimental utilizado está instalado no canal radial de irradiação nº 10 do reator nuclear de pesquisas IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP. Esse reator opera a uma potência de 2 MW com um fluxo de 10^{13} nêutrons/s.cm² em seu núcleo. Desse canal é extraído um feixe de nêutrons térmicos com fluxo de 10^6 nêutrons/s.cm² que incide sobre a mostra em estudo. Os métodos de conversão empregados foram o direto com folha de gadolínio e o indireto com folha de disprósio. Os tempos de exposição dos materiais ao feixe, foram de 4,5 minutos e de 20 minutos respectivamente com 1 hora para a transferência da imagem no método indireto.

Os materiais inspecionados foram munições para fuzil e revolver, tiras delgadas de material plástico diretamente expostas ao feixe e atrás de camadas espessas de alguns metais, além de peças de lucite.

Os resultados obtidos demonstraram a sensibilidade da técnica, relativa à inspeção de materiais ricos em hidrogênio, a qual vem sendo desenvolvida e implantada na área de Física Nuclear do IPEN-CNEN/SP.

INTRODUÇÃO

A radiografia com nêutrons é uma técnica eficaz empregada na análise não destrutiva de materiais que expande o campo de aplicação das técnicas de radiografia convencionais com raios-X e raios-γ.(1,2,3)

3º Workshop de Combustão e propulsão,
Lorena SP, 28-30 de novembro, 1989

Basicamente as técnicas de radiografia são muito similares e constam em se colocar a amostra em estudo em um feixe de radiação homogêneo e registrar a intensidade transmitida. Para a radiação neutrônica essa intensidade não é caracterizada, como no caso dos raios-X e raios- γ por uma dependência racional com o número atômico da amostra. A interação dos nêutrons com a matéria é quase que única para cada núcleo. Os nêutrons podem penetrar facilmente em espessas camadas de materiais de alto número atômico, são atenuados por materiais hidrogenados e também são capazes de distinguir isótopos de um mesmo elemento. (4)

No caso da presente técnica, o registro da intensidade dos nêutrons transmitidos é realizado mediante o emprego de telas conversoras cuja função é capturar esses nêutrons e dar origem à radiações ionizantes capazes de sensibilizar filmes. Os processos de conversão são de dois tipos: Direto e Indireto. No primeiro, o conversor e o filme são colocados em contato e levados ao feixe de nêutrons para a realização da radiografia enquanto que, no segundo, o conversor é inicialmente ativado nesse feixe formando uma imagem radioativa da amostra. Em seguida o conversor é colocado em contato com o filme ocorrendo então a transferência da imagem. (1,3)

Dentre as principais aplicações da técnica pode-se citar a inspeção de materiais hidrogenados como explosivos, adesivos, plásticos, óleos, água, borrachas mesmo que estejam envolvidos por espessas camadas de metais, materiais cerâmicos, pás de turbina, materiais altamente radioativos como elementos combustíveis de reatores nucleares, fontes radioativas etc. (5,6,7)

O objetivo desse trabalho foi demonstrar, a nível qualitativo, a viabilidade da técnica da radiografia com nêutrons relativa à inspeção de materiais hidrogenados.

A área de Física Nuclear do IPEN-CNEN/SP vem trabalhando nessa técnica aproximadamente há 3 anos, empregando como fonte de nêutrons o reator nuclear de pesquisas IEA-R1, cuja finalidade é o seu desenvolvimento para aplicações nos setores científico e industrial do país.

PARTE EXPERIMENTAL

O arranjo experimental empregado nesse trabalho foi inteiramente

mente projetado e construído no IPEN-CNEN/SP e está instalado no canal radial de irradiação nº 10 do reator nuclear IEA-R1, que opera à uma potência de 2 MW com um fluxo de nêutrons térmicos de 10^{13} n/s.cm² em seu núcleo.

No interior desse canal de irradiação o feixe de nêutrons, oriundo do núcleo do reator, passa inicialmente através de um colimador tipo cônico convergente de ferro e por dois filtros de chumbo cuja finalidade é reduzir a contribuição da radiação gama no local de trabalho. Em seguida o feixe passa através de dois tubos concêntricos de alumínio que contêm entre suas paredes, carbeto de boro, para minimizar a quantidade de nêutrons espalhados, incidentes na amostra. As características relevantes do feixe de nêutrons extraído, são mostradas na tabela I.

Tabela I- Características de feixe de nêutrons extraído do canal de irradiação nº 10.

Área útil - 75 cm ²	Razão de colimação** - 40
Fluxo - 10^6 n/s.cm ²	Dose de nêutrons no feixe-2,7R/h
Razão de cádmio* - 200	Dose de gama no feixe - 1,8R/h

* Razão de intensidades entre nêutrons térmicos e nêutrons epitérmicos

** Razão dada por: Comprimento do colimador/diâmetro da abertura posterior do colimador.

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

O porta-amostra, confeccionado inteiramente em alumínio, consiste basicamente de um suporte no formato de um "L", no qual a amostra em estudo, o conversor e o filme, opcionalmente, são fixados. A radiografia é obtida, posicionando todo o conjunto no feixe de nêutrons, por intermédio de um sistema de trilhos e roldanas, acionado a uma distância de 3 metros do local de irradiação.

A figura 1 mostra um diagrama esquemático do arranjo experi-
mental.

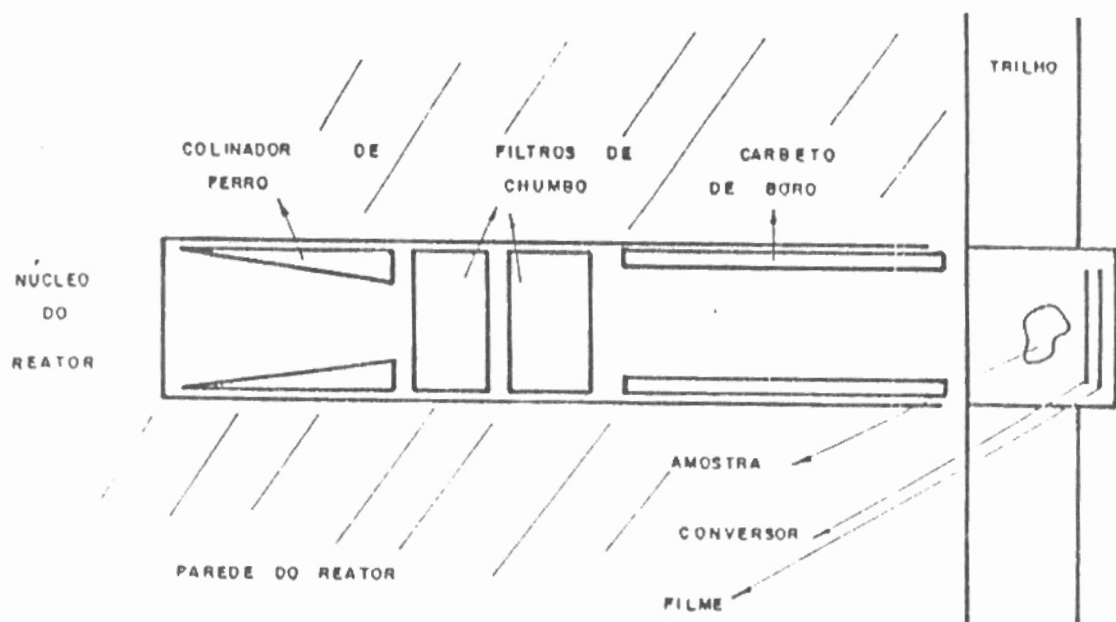


Figure 1. Arranjo experimental utilizado para radiografia.

Foram empregados dois métodos de conversão: direto com folha de gadolínio e indireto com folha de disprósio.

Em experimento preliminar, determinou-se o tempo de exposição necessário para se alcançar uma densidade ótica de 2,5 para o filme Du pont tipo 70 utilizado nesse trabalho e os resultados foram os seguintes: 4,5 minutos para o conversor de gadolínio e 20 minutos para o conversor de disprósio com 60 minutos de transferência de imagem.

O processo de revelação dos filmes é o mesmo que o empregado em radiografias com raios-X.

RESULTADOS E COMENTÁRIOS

Foram obtidas radiografias, ou neutronografias, de vários materiais nas condições de exposição e transferência citadas previamente e os resultados estão mostrados na figura 2. O papel fotográfico empregado nessas figuras foi o Kodabromide F3.



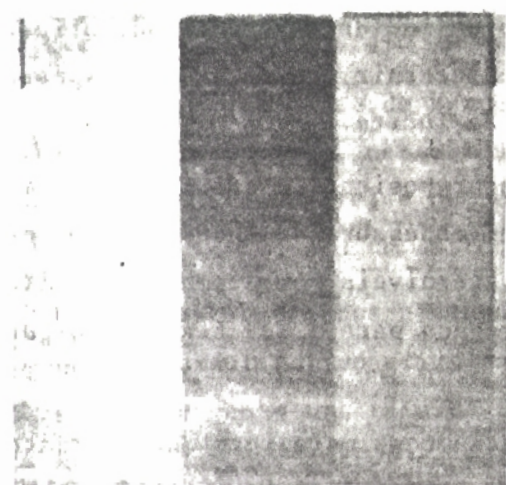
2a



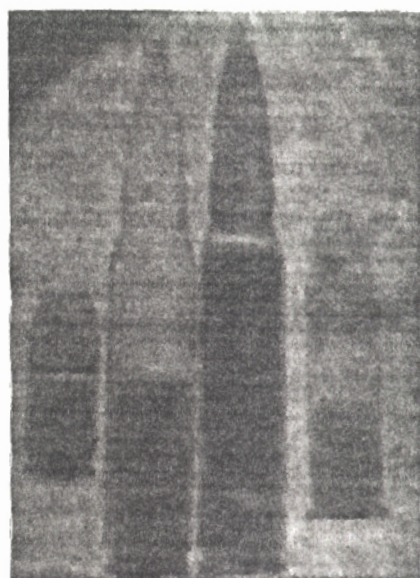
2b



2c



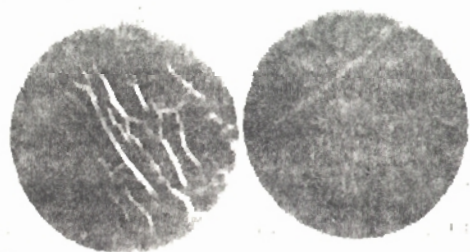
2d



2e



3a



3b

Figuras 2 e 3 - Radiografias obtidas no reator IEA-R1.

Para se demonstrar qualitativamente a sensibilidade da técnica na inspeção de materiais hidrogenados, foram selecionados a pólvora, tiras plásticas, adesivos e lucite.

A figura 2a é a radiografia de uma peça confeccionada em lucite de 11 mm de espessura com vários orifícios e todos visíveis:

- dois horizontais e passantes na parte inferior com diâmetros 3,0 mm e 3,6 mm;
- um vertical na parte superior com diâmetro 4,0 mm;
- três passantes ao longo do feixe com diâmetro 5,6 mm, 3,0 mm e 3,6 mm;
- um ao longo do feixe e com profundidade 5 mm e diâmetro 3,6 mm.

A figura 2b mostra uma peça também em lucite no formato de uma escada com 5 degraus, com espessura máxima de 12 mm. Pode-se observar com clareza cada um deles. Por meio de medidas de densidade ótica, determinou-se que a técnica é capaz de discernir variações de espessuras de aproximadamente 2% em até 12 mm de lucite.

Na figura 2c é mostrada uma sobreposição de quatro tiras delgadas de material plástico, cada uma com espessura de 200 μ . Como na figura anterior, as quatro tiras são discerníveis como também é a fita adesiva (Scotch) de espessura 70 μ empregada para a sua fixação no porta-amostra.

Na figura 2d são mostradas três peças metálicas no formato de escadas. Da esquerda para a direita tem-se: alumínio, ferro e chumbo. Essas peças possuem as mesmas dimensões daquela de lucite mostrada na figura 2b. É importante salientar a transparência dos nêutrons relativa ao alumínio e ao chumbo, o que é corroborado pela dificuldade de se visualizar os degraus para cada um desses materiais, o que não ocorre relativamente à peça de ferro. O fato mais importante dessa figura é a visualização das tiras delgadas de material plástico de espessura de 200 μ colocados atrás e ao longo dessas peças. Resultados similares podem ser obtidos para outros metais como cobre, titânio, vanádio, tungstênio etc.

A figura 2e mostra balas de fuzil e de revólver onde são visíveis, claramente, o volume de pólvora no interior da capsula metálica bem como o seu caráter granular.

Na figura 3 são mostrados alguns outros exemplos de aplica

ção da técnica da radiografia com nêutrons. Na figura 3a tem-se fil-
tros de sílica possuindo um deles micro-rachaduras. Na figura 3b é mos-
trada uma pequena secção de uma neutrongrafia de um elemento combustí-
vel, altamente radioativo do reator nuclear IEA-R1.

As figuras 2a e 3a foram obtidas pelo método de conversão
com gadolínio e as demais com disprósio.

Essas radiografias apresentadas, mostram algumas das princi-
pais aplicações da técnica da radiografia com nêutrons que vem sendo
empregada aproximadamente há 30 anos em muitos centros de pesquisas go-
vernamentais e privados, no exterior. (7)

Atualmente no IPEN-CNEN/SP a técnica ainda necessita de de-
senvolvimento principalmente aqueles relativos à 1) tornar o feixe
mais penetrante; para a inspeção de materiais hidrogenados espessos;
2) não restringir o emprego da técnica ao local de extração do feixe e
3) restrição quanto às dimensões das peças.

Estão em fase de estudo e desenvolvimento, dois projetos: um
relativo à instalação, nesse mesmo reator, de um feixe com área útil
maior e energia variável e outro relativo ao emprego de fontes radioa-
tivas de nêutrons para um sistema móvel de radiografia em tempo real.

Desses estudos pretende-se desenvolver a técnica a um nível
de análise quantitativo e implantá-la na área de Física Nuclear do
IPEN-CNEN/SP, como uma técnica de radiografia alternativa e eficaz pa-
ra análise não destrutiva de materiais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) H. Berger - Neutron radiography, Methods Capabilities and Appli-
cations. Amsterdam - Elsevier - 1965.
- 2) R. Pugliesi, M.A.P.V. de Moraes, I.M. Yamazaki, C.F. Acosta - Neu-
trongraphy experiments at the IEA-R1 Nuclear Research Reactor. Pro-
ceedings of the International Conference on Nuclear Data for Scien-
ce and Technology (1988 Mito), 1095-1097.
- 3) J.C. Domanus, R.S. Matfield - Neutron Radiography handbook. D.
Reidel Publishing Company. 1986
- 4) M.R. - Howkesworth - Neutron radiography: Equipment and me-
thods - Atomic Energy Review 15,2(1977).

- 5) M.R. Howkesworth - Neutron radiography: Equipment and methods - Atomic Energy Review 15,2(1977).
- 6) P.E. Underhill. Industrial neutron radiography in the United States. Proceedings of the second world conference on neutron radiography. Paris-France, June 16-20(1986).
- 7) K. Katsuraiama - Present Status of neutron radiography in Japan. Proceedings of the second world conference on neutron radiography. Paris-France, June 16-20(1986).