

Desenvolvimento de um Sistema Eletrônico para Obtenção de Imagens Radiográficas com Nêutrons em Tempo Real

Francisco J. O.Ferreira*, Verginia R. Crispim**, Ademir X. Silva**, Robson Ramos*

*Instituto de Engenharia Nuclear, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Caixa Postal 68550, CEP 21945-970, RJ, Brasil and
Laboratório de Neutronografia em Tempo Real, [PEN/COPPE-DNC/EEJCT/UFRJ, Caixa Postal 68509, CEP:21945-970, RJ, Brasil

Recebido em 10/09/2004. Aceito para publicação em 20/03/2005

Um novo Sistema Eletrônico de Imageamento (SEI) para Radiografia com Nêutrons em Tempo Real (NRTR) foi desenvolvido, o qual permitirá inspeções de amostras com alta eficiência, em termos de menor tempo de medida e de análise de resultados. A implantação desse sistema deve-se à potencialidade de sua utilização em diversas áreas, tendo como principal vantagem não ser necessário o uso de uma câmera de vídeo refrigerada, nem intensificador de imagem, o que o torna menos dispendioso, podendo ser utilizado em arranjos neutronográficos com baixo fluxo de nêutrons. O Sistema em Tempo Real desenvolvido encontra-se instalado junto ao canal de irradiação J-9 do reator nuclear de pesquisas Argonauta, no Instituto de Engenharia Nuclear/CNEN. Ele está apto a realizar inspeções NRTR de eventos estáticos e dinâmicos de amostras, tais como, drogas e explosivos plásticos, cuja detecção é muito importante para o combate ao terrorismo e ao narcotráfico.

A new Electronic Imaging System for Real Time Radiography Neutron was developed, which will allow inspections of samples with high efficiency, in terms of minors measure time and the results analysis. The implantation of this system must it the potentiality of its use in various areas, having as main advantage not to be necessary the use of a cooled video camera, nor of an image intensifier, what it becomes very economic, being capable still to be used in neutron radiographic arrangements with low neutron flux. This Real Time System meets installed together to J-9 irradiation channel of Argonaut research nuclear reactor, in Nuclear Engineering Institute of the National Commission of Energy Nuclear (CNEN). It is suitable to carry out Real Time Neutron Radiography of static and dynamic events of samples, such as, drugs and plastic explosives, whose detection is very important for the combat to the terrorism and the drug trafficking.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, a Neutronografia pode ser considerada uma técnica de Ensaios Não Destrutivos (END) bastante desenvolvida, que tem sido utilizada em situações específicas, não sendo mais considerada apenas como um método de ensaio complementar às técnicas radiográficas por raios-X e raios- γ . Entretanto, para ampliar suas aplicações, foram necessários alguns aperfeiçoamentos nos dispositivos empregados; para isso, muitos laboratórios pesquisaram sobre o aumento do desempenho e da precisão dos Sistemas Eletrônicos de Imageamento (SEI). Dentre as diversas investigações em andamento, estão as que objetivam sintetizar sistemas de imageamento em função dos fluxos de nêutrons disponíveis para realização dos ensaios neutronográficos.

Este trabalho foi realizado, visando-se o desenvolvimento e a implementação de um SEI para Radiografia com Nêutrons em Tempo Real (NRTR) de baixo custo, junto ao Reator Argonauta do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que possui um fluxo de nêutrons térmicos ($E_{med} = 30$ meV) considerado de baixa intensidade ($4,46 \times 10^5 n/cm^2.s$). A diferença fundamental entre um SEI e um sistema convencional que emprega filmes está nos dispositivos usados para o registro das imagens, a saber: tela cintiladora, câmera de vídeo, micro-computador com placa digitalizadora.

Quatro fatores importantes influenciam diretamente o desempenho dos SEI [1], a saber: fluxo de nêutrons emergentes da fonte; arranjo moderador/colimador para otimização do fluxo de nêutrons térmicos; sistema de imageamento compatível com o espectro de energia dos nêutrons térmicos;

manipulação de equipamentos de alta tecnologia. Um estudo [2] sobre a caracterização de um NRTR foi realizado, levando em consideração esses quatro fatores.

O Sistema Eletrônico para aquisição de imagens Neutronográficas em Tempo Real desenvolvido é composto de uma tela cintiladora para nêutrons, uma câmera de vídeo (CCD) não refrigerada, acoplada a uma lente f 1,0, uma placa digitalizadora e um micro-computador com programas computacionais específicos para a digitalização e processamento digital das imagens. O sistema foi instalado junto a saída do canal de irradiação J-9 do reator Argonauta do IEN. No interior desse canal, encontram-se instalados os colimadores e dispositivos que compõem o arranjo neutronográfico utilizado. Visando-se o combate ao terrorismo e ao narcotráfico, realizou-se Neutronografias de amostras de interesse à área de Segurança Pública Nacional e outras relacionadas a alguns ensaios dinâmicos.

II. METODOLOGIA

A. Arranjo Neutronográfico do IEN

O reator Argonauta opera a uma potência nominal de 340 watts, sendo as características do feixe de nêutrons no plano da imagem: fluxo de nêutrons térmicos de $4,46 \times 10^5 n/cm^2.s$; razão de colimação L/D de 70; razão n/γ de $3 \times 10^6 n/cm^2.mrem$; energia média dos nêutrons de 30 meV.

A Figura 1 mostra o arranjo neutronográfico, instalado na coluna térmica externa, que está situada na parte frontal do reator Argonauta do IEN, constituída de uma pilha de grafita,

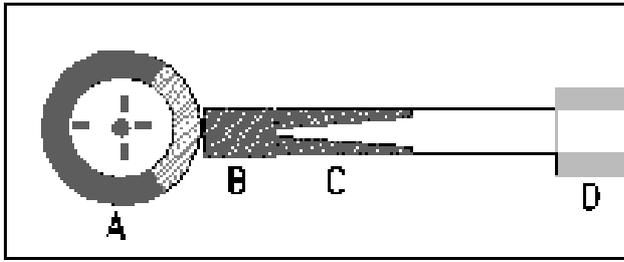


FIG. 1: Arranjo Neutronográfico do IEN. A: núcleo do reator; B: bloco colimador (grafita); C: colimador divergente (grafita revestida com cádmio); D: colimador paralelo (parafina revestida com cádmio) [2]

onde estão instalados o bloco moderador e o colimador divergente de grafita.

A principal vantagem do Sistema Eletrônico de Imageamento (SEI) em Tempo Real desenvolvido é a não utilização de uma câmera refrigerada e nem de um intensificador de imagem, como é o caso dos demais sistemas utilizados em arranjos neutronográficos encontrados na literatura, o que o torna um sistema menos dispendioso sob ponto de vista econômico e operacional, podendo ser utilizado em arranjos de baixo fluxo de nêutrons. Outro aspecto importante quanto aos seus componentes é a utilização de um acoplamento óptico com lente *MACRO* que permite uma área de inspeção de aproximadamente $150 \times 150 \text{ mm}^2$. O SEI desenvolvido é constituído pelos componentes descritos a seguir:

Utilizou-se a tela cintiladora para nêutrons NE-425, cujas características do material conversor são: ${}^6\text{LiF} + \text{ZnS}$, composição típica da tela; reação nuclear predominante, ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$, sendo emitidos cerca de $1,7 \times 10^3$ fótons de luz por nêutron capturado [3].

A câmera de vídeo utilizada foi fabricada pela Panasonic, série WV- CL 920, que possui um CCD de $1/2''$ (diagonal principal) com resolução de 580 linhas, podendo operar com iluminação mínima de $0,02 \text{ LUX}$ para uma abertura de lente, f , de 1,4. Para o acoplamento óptico foi utilizada uma lente *MACRO* fabricada pela Cãnon, que permite um ajuste manual do foco.

Os componentes descritos anteriormente foram montados numa caixa estanque para evitar a entrada de luz do ambiente externo, tendo sido construída de alumínio, por ser um material transparente aos nêutrons térmicos, e pintada na cor preto fosco para não refletir a imagem formada na tela cintiladora. Um espelho plano montado a 45° reflete os fótons de luz na direção da câmera, posicionada perpendicularmente ao feixe de nêutrons; além disso, a câmera é protegida das radiações nêutrons e gama por uma blindagem adicional constituída de parafina borada, cádmio e chumbo. Na Figura 2 são apresentadas as fotos (a) do Sistema Eletrônico de Imageamento (SEI) em Tempo Real, (b) canal de irradiação J-9.

Para a digitalização das imagens, foi utilizada uma placa digitalizadora, acoplada a um microcomputador Pentium III, que permite a captura de imagens, a uma taxa de até 30 quadros por segundo, com resolução de até (640×480) pixels, sendo as imagens digitalizadas em 8 bits, ou seja, 256 níveis

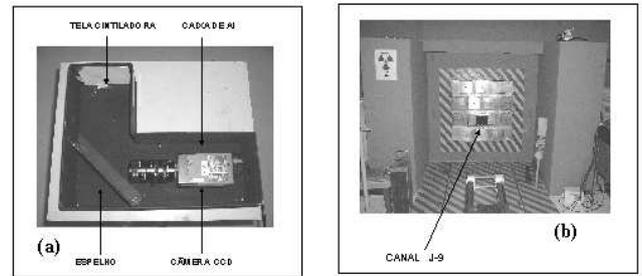


FIG. 2: (a) Sistema Eletrônico de Imageamento, (b) canal de irradiação J-9 do Reator Argonauta do IEN/CNEN.

de cinza. Os programas específicos utilizados para capturar e tratar imagens foram respectivamente o “*Vid – Cap*” que controla a captura de imagens e de filmes, gerando arquivos do tipo “*AVI*”, e o “*Image – ProPlus*”, que realiza o processamento digital.

B. Funcionamento e operação do sistema

Durante a irradiação, a caixa estanque foi instalada na saída do canal de irradiação, com as amostras fixadas em sua face externa. A imagem gerada pela tela cintiladora é refletida no espelho, na direção da câmera de vídeo, que a capta e a envia para um computador que tem uma placa digitalizadora acoplada, gerando um arquivo de dados, que é armazenado no disco rígido do computador. Para visualizar melhor a imagem no monitor de vídeo, o pesquisador pode realizar ajustes de brilho e contraste.

C. Caracterização do SEI em Tempo Real

Um SEI em Tempo Real completo pode ser caracterizado por dois parâmetros [4]: Sensibilidade e Resolução. A sensibilidade de um SEI com nêutrons é definida pela sua capacidade de distinguir variações de espessuras (Δx) de um material. Para o sistema desenvolvido, foi encontrado um valor médio da sensibilidade para o lucite de $\Delta x = 0,09 \text{ cm}$. A resolução de um SEI (U_T) é definida como a menor distância distinguida entre dois objetos, a resolução encontrada foi de $444 \mu\text{m}$.

III. RESULTADOS

Utilizando o SEI em Tempo Real, foram obtidas imagens referentes aos indicadores de qualidade neutronográfica: Indicador de Resolução Visual (IRV) e Indicador de Pureza de Feixe (IPF) [5]. Na Figura 3, é apresentada uma NRTR com o SEI do IPF e do IRV.

Como pode ser observado, a imagem do IPF apresenta um bom contraste para materiais que possuem alta seção de choque de absorção para nêutrons térmicos, tais como os discos



FIG. 3: Imagem do IPF e IRV obtida com o SEI em Tempo Real implantado no Reator Argonauta.

de nitreto de boro (BN) e as barras de cádmio, demonstrando a capacidade do Sistema de discernir esses materiais; a imagem do IRV apresenta resolução suficiente para a visualização dos orifícios com 1 mm de diâmetro, porém, os de 0,25 mm de diâmetro não são visualizados, o que está compatível com a resolução $U_T = 444\mu\text{m}$ determinada para esse Sistema.

Utilizando o SEI em Tempo Real, foram obtidas imagens de eventos dinâmicos. Uma seqüência de cinco imagens referentes à introdução de água num reservatório de alumínio, pode ser observada, na Figura 4. As imagens apresentadas foram geradas, de acordo com a metodologia descrita anteriormente, mas não foram submetidas a nenhum processamento digital, sendo apenas extraídos os quadros dos arquivos do tipo AVI. Na seqüência de imagens apresentadas na Figura 4, observa-se claramente o aumento do nível de água, dentro do reservatório.

A. Aplicações

Dando prosseguimento à linha de pesquisa do LNRTR/PEN/COPPE/UFRJ relacionada a demonstração da potencialidade da Neutronografia aplicada à inspeção de narcóticos e explosivos plásticos, visando a Segurança Pública Nacional e Internacional [6 e 7], foram realizados ensaios neutronográficos em tempo real (NRTR), com o SEI implantado no reator Argonauta/IEN/CNEN. Nas Figuras 5 e 6, são apresentadas, respectivamente, as imagens de um segmento de explosivo com carga de C4 e de tubos de alumínio contendo narcóticos, nas seguintes condições:

- Amostra 1: Cocaína em pó (90% de pureza)
- Amostra 2: Cocaína em pó (50% de pureza)
- Amostra 3: Cocaína em pasta
- Amostra 4: Porta amostra vazio
- Amostra 5: Crack (Cocaína em pedra)

O Sistema Neutronográfico em Tempo Real com o SEI foi capaz de caracterizar a presença dos narcóticos e explosivos,

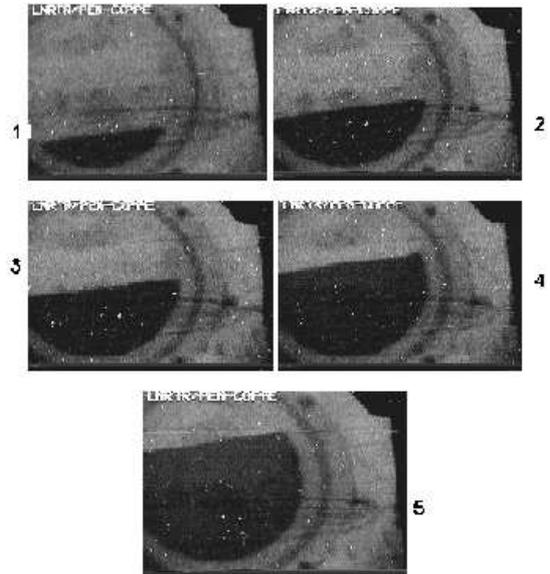


FIG. 4: Enchimento de um canal de água dentro de um reservatório de alumínio.



FIG. 5: Imagem de um segmento de explosivo com carga de C4 obtida com o SEI em Tempo Real implantado no reator Argonauta do IEN/CNEN.

a partir de amostras de composição conhecida; as imagens apresentaram boa nitidez e contraste radiográfico suficiente para diferenciá-las quanto à forma e à concentração.

IV. CONCLUSÕES

O SEI em Tempo Real desenvolvido apresenta como principal vantagem, não utilizar uma câmera de vídeo refrigerada nem um intensificador de imagem, como é o caso dos demais SEI utilizados em arranjos neutronográficos descritos na literatura, o que o torna um sistema menos dispendioso do ponto de vista econômico e operacional, podendo ser utilizado em arranjos com baixo fluxo de nêutrons.



FIG. 6: Imagens de tubos de alumínio com cocaína (1,2,3 e 5) e tubo de alumínio vazio (4) obtidas com o SEI em Tempo Real implantado no reator Argonauta do IEN/CNEN.

Os resultados quanto à caracterização do SEI, em termos de sensibilidade, resolução e área de inspeção é compatível com outros SEI descritos na literatura.

Há possibilidade de se realizar ensaios neutrongráficos de eventos dinâmicos, ampliando significativamente o campo de aplicação da técnica no estudo da dinâmica dos lubrificantes em componentes mecânicos; na difusão de líquidos em tubos metálicos; difusão/absorção de líquidos em diversos materiais.

Referências

- [1] Kendem, D., Polichar, R., Orphan, V., Shreve, D., Neutron Imaging With Low-Intensity Neutron Sources. In: *Proceedings of Second World Conference Neutron Radiography*, D. Reidel Publishing Company, John P. Barton, pp. 439-446, Paris (1986).
- [2] Ferreira, F. J. O., *Estudo para Implantação de um Sistema Eletrônico para Aquisição de Imagens Neutrongráficas no Reator Argonauta do IEN/CNEN*, Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro (2003).
- [3] Casali, F., CHIRCO, P., ZANARINI, M., *Advanced Imaging Techniques: a New Deal for Neutron Physics*. *La Revista Del Nuovo Cimento*, vol. 18, n. 10, Bologna (1995).
- [4] Menezes, M. O., *Radiografia com Nêutrons em Tempo-Real*, Tese de Doutorado, IPEN-CNEN/SP, USP, São Paulo (2000).
- [5] Domanus, J. C., *Practical Neutron Radiography*, Commission of the European Communities, Kluwer Academic Publishers, 1 ed., (1992).
- [6] Hacidume L. R., *Detecção de Explosivos Plásticos por Neutrongrafia Térmica*, Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, (1990).
- [7] da Silva, A X., *Uso de um Feixe de Nêutrons Térmicos para Detecção de Narcóticos e Explosivo por Tomografia, para Aplicação na Segurança Pública Nacional*, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ (1999).