

TLD AREA MONITORING ON THE SMALL SIZE INDUSTRIAL IRRADIATOR FACILITY

Yasko Kodama¹, José Eduardo Manzoli² and Paulo Roberto Rela¹

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)
Av. Professor Lineu Prestes 2242
05508-000 São Paulo, SP

¹Centro de Tecnologia das Radiações - CTR
ykodama@ipen.br

prela@ipen.br

² Centro de Metrologia das Radiações - CMR
jmanzoli@ipen.br

RESUMO

Para complementar o levantamento radiométrico realizado no Irradiador Multipropósito do tipo compacto construído no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (CNEN/SP-IPEN) [1] foram posicionados 12 dosímetros termoluminescentes, TLD, dentro da instalação em torno da câmara de irradiação e 8 unidades na área externa em pontos próximos ao prédio. Durante o segundo período de monitoração ocorreram a chegada de dois contêineres contendo fontes seladas de ⁶⁰Co (3,4 PBq e 9,2 Bq), o carregamento das fontes nos racks dentro da piscina de armazenamento e a irradiação de vários tipos de produtos. Os dosímetros CaSO₄:Dy/PTFE vem sendo utilizados em várias instalações devido à sua robustez e sensibilidade para fótons. As avaliações dos TLD foram conduzidos no Laboratório de Dosimetria Termoluminescente no Centro de Metrologia das Radiações. Utilizando-se a grandeza dosimétrica exposição para fótons em ar, os resultados mostraram que somente em um ponto o valor de exposição é mais alto que o nível de registro para indivíduos ocupacionalmente expostos e nos demais pontos os valores de exposição são próximos à radiação natural de fundo. O ponto onde a exposição é mais alta se deve ao fato da presença temporária do contêiner contendo fontes seladas de ⁶⁰Co (9,2 PBq) na parte de trás da blindagem do irradiador. Após a remoção do referido contêiner provavelmente a exposição diminuirá a valores da radiação natural de fundo. A grandeza operacional utilizada neste trabalho para a monitoração individual externa foi a dose equivalente para fótons, que é a grandeza oficialmente em uso no Brasil [2]. Pôde ser observado que a segurança radiológica da instalação é adequada tanto para indivíduos ocupacionalmente expostos quanto para indivíduos do público em condições normais de trabalho. É importante enfatizar que, em sendo os valores de exposição muito baixos dentro e nas proximidades da instalação, não existe impacto radiológico ao meio ambiente.

1. INTRODUÇÃO

Foi instalado no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (CNEN/IPEN-SP) um irradiador industrial tipo compacto que utiliza sistema de transporte contínuo de contêineres para alimentar os produtos a serem processados. Abrangendo uma área total de 1100 m², possui capacidade máxima licenciada de fontes seladas de ⁶⁰Co de 37 PBq (1 MCi) [1]. Por ser classificada como instalação de irradiação gama categoria IV [3], existem vários requisitos a serem atendidos para que a instalação possa funcionar de modo a garantir a sua segurança radiológica. Dentre esses requisitos, além da monitoração individual dos operadores, torna-se necessária a monitoração de área. A monitoração de área pode ser

realizada utilizando monitores portáteis de radiação ou monitores fixos, que dão valores momentâneos da exposição/dose, já a dosimetria termoluminescente é utilizada por fornecer valores integrados de exposição fornecendo uma faixa dinâmica ampla, com a desvantagem de não fornecer a dependência com o tempo do campo de radiação.

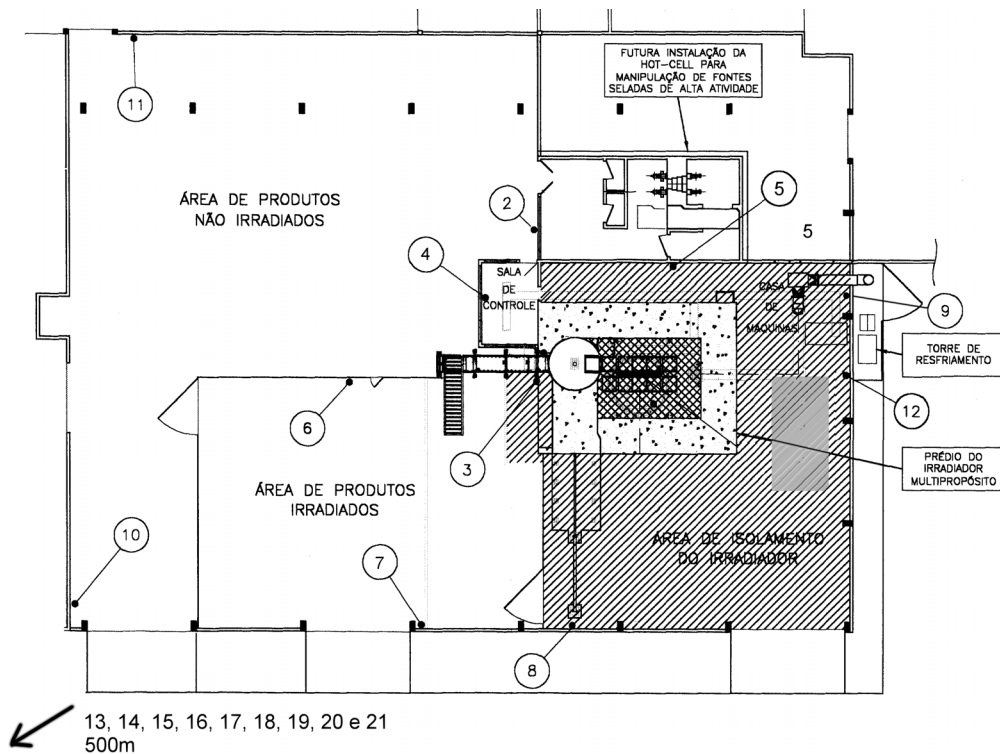
O objetivo geral de um programa de monitoração operacional é estimar as condições do local de trabalho e as exposições individuais. A estimativa das doses externas de radiação, rotineiras ou potenciais, para indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE) faz parte de um programa de proteção radiológica e auxilia a garantir de maneira aceitável condições radiológicas seguras e satisfatórias no local de trabalho [4]. Quando as doses são estimadas com base nos resultados da monitoração rotineira do local de trabalho, esta monitoração deve ser contínua e representativa de todas as áreas ocupacionais dentro do local de trabalho. Se os instrumentos utilizados são apropriadamente projetados e precisamente calibrados, pode-se assumir que é possível obter uma estimativa adequada da dose efetiva do indivíduo ocupacionalmente exposto, IOE, ou da dose equivalente em órgãos e tecidos de um IOE por meio da grandeza medida no local de trabalho, em conjunto com dados de ocupação [4].

A dosimetria de área é realizada pelo Laboratório de Dosimetria Termoluminescente, LDT-IPEN, utilizando dosímetros termoluminescentes, TLD, para diversas instituições, além de para o próprio IPEN. A radiação de fótons é avaliada entre 20 e 1250 keV e a grandeza utilizada é a Exposição, X, em unidades de micro-coulombs por quilograma, $\mu\text{C}/\text{kg}$. Neste trabalho os TLD permaneceram em campo por dois períodos de, no mínimo, três meses cada, para uma maior precisão na medição, de maneira a obter valores acima do limite de detecção da dosimetria [5]. Neste trabalho, os TLD foram posicionados na área interna da instalação onde localiza-se o irradiador multipropósito (externa à blindagem) e em diversos pontos em áreas externas nas proximidades da instalação. Os mesmos foram posicionados antes da instalação das fontes, de modo que a dosimetria de área pôde avaliar o impacto na Exposição do local após a presença das fontes no irradiador. Este trabalho complementou o levantamento radiométrico onde havia sido utilizado um monitor portátil de radiação tipo Geiger-Müller, após o carregamento das fontes no irradiador.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

2.1. Irradiador Mutlitpropósito

A contenção do Irradiador Multipropósito ocupa 76 m^2 de superfície, blindagem de concreto com espessura de parede de 1,80 m, 1 porta deslizante e 1 porta giratória de blindagem de concreto, piscina para armazenamento de fontes de 7 m de profundidade [1]. Embora o projeto tenha sido elaborado para suportar 74 PBq (2 MCi) e a atividade licenciada seja de 37 PBq (1 MCi), atualmente a soma das atividades das fontes é de 3,4 PBq (92 kCi/dezembro de 2004). A planta baixa do Irradiador com os pontos de monitoração para a exposição externa com as respectivas descrições deste trabalho são apresentados na Fig. 1.



TLD	Descrição	TLD	Descrição
1	Controle	8	Portão da área de isolamento
2	Futura Hot Cell	9	Sistema de Exaustão
3	Porta deslizante	10	Entrada de Produtos
4	Sala de Controle	11	Porta de Acesso de Pessoas
5	Sala de Máquinas	12	Fundo do Irradiador
6	Área de Produtos Irrradiados	13, 14, 15, 16, 17	Pontos em até 500m da instalação
7	Porta de Saída de Produtos	18, 19, 20, 21	

Figura 1. Planta baixa do Irradiador Multipropósito do IPEN com os pontos de monitoração TLD.

2.2. Dosímetros Termoluminescentes

Os dosímetros utilizam como detector o fósforo $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ numa matriz de PTFE. Cada dosímetro apresenta três detectores selados para sua proteção contra luminosidade e intempéries. Os detectores apresentam-se na forma de pastilhas de 1 mm de espessura e 6 mm de diâmetro, as quais inserem-se num porta-detector plástico sob filtros de chumbo, ilustrados na Fig. 2.

As diferentes filtrações a que os detectores estão sujeitos causam uma resposta TL diferenciada nas três pastilhas, caso o fóton não tenha energia elevada (acima de 500 keV). Se a energia do fóton da radiação incidente for elevada, as três respostas TL serão equivalentes. Assim, utilizando o algoritmo apropriado é possível estimar a energia do fóton presente na área, se a exposição foi monoenergética, além da grandeza Exposição local. Nas medições de todos os dosímetros deste trabalho os resultados indicaram fótons acima de 500 keV.

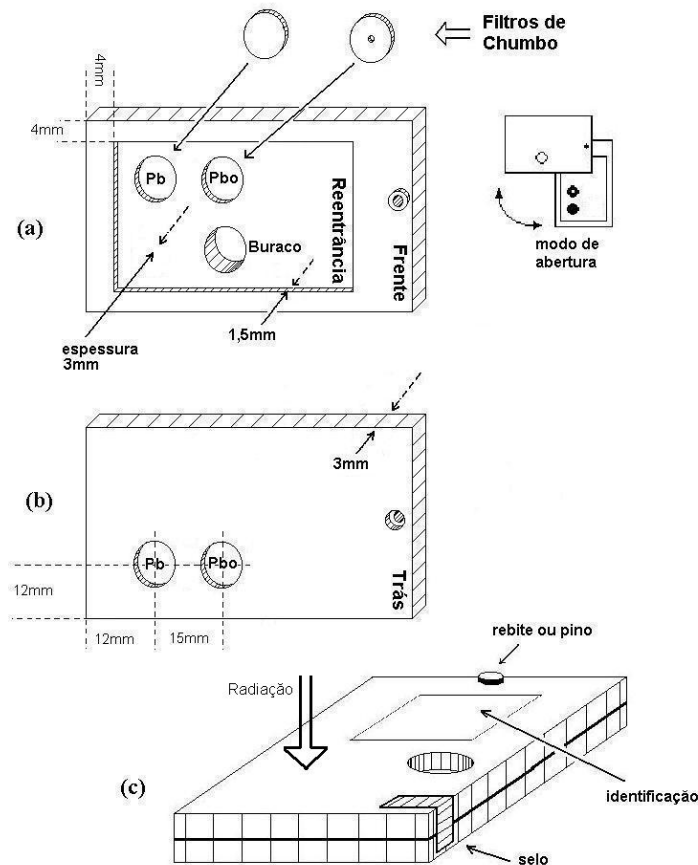


Figura 2. Porta-detector do dosímetro termoluminescente utilizado na dosimetria de área. Dois dos detectores de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ situam-se entre os filtros de chumbo indicados como Pb e Pbo. O terceiro detector situa-se também no interior deste porta-detector, mas numa posição sem filtração. A espessura do plástico garante o equilíbrio eletrônico na interação da radiação de fótons com a pastilha [6,7].

Exceto pela não necessidade de envio e retorno dos *dosímetros de controle* por rotas diferenciadas, dada a proximidade do LDT à instalação, o procedimento de *Manzoli e Manzoli* [8] foi utilizado para colocação dos dosímetros em campo.

2.3. Avaliação Termoluminescente

O LDT dispõe de um leitor Harshaw modelo 5500 e de outro modelo 2000, ambos utilizados nas avaliações TL deste trabalho. As avaliações são realizadas em sala climatizada e os detectores foram selecionados pelos procedimentos usuais do laboratório [9]. Os parâmetros de leitura TL são: pré-aquecimento de 150°C , rampa de aquecimento de 12°C/s , temperatura de aquisição final de 300°C . A rastreabilidade da curva de calibração deve-se à dosimetria do campo de radiação em que a mesma é determinada.

Para obter a reprodutibilidade dos TLD, uma vez realizada a seleção mecânica e completado o número de detectores necessários, estabelece-se os critérios de formação de lotes. Estes

dosímetros são então irradiados com uma pré-dose, para garantir um mesmo histórico de irradiação, são tratados termicamente e então irradiados em campos padrão terciário de radiação com 2,0 mGy de kerma no ar, grandeza física para radiações ionizantes diretamente relacionada a Hx, na qual LDT possui rastreabilidade internacional. O fornecedor dos TLD informou que a reprodutibilidade de resposta possui variação inferior a 5%. Os lotes selecionados possuem variação igual a 10% do valor médio da distribuição, procede-se ao estabelecimento da curva de calibração de cada lote irradiando com fonte de ^{60}Co [9]. O fator de calibração é a relação do valor verdadeiro convencional da medida e a leitura sob condições de referência, este especifica os valores das grandezas de influência para o qual o fator de calibração é válido sem correções [10]. Para a utilização dos TLD é estabelecida a relação da grandeza kerma no ar com Hx. Para fótons de baixa energia são estabelecidas as curvas de calibração com um fator de calibração sensivelmente diferente do obtido com ^{60}Co . São analisados, juntamente com a aplicação dos TLD o algoritmo de cálculo de dose, para a correta determinação da exposição ocupacional, os resultados das caracterizações quanto à curva de calibração e de dependência energética [9].

2.4. Escolha dos Pontos da Monitoração no Local de Trabalho

Os pontos da monitoração utilizando TLDs foram escolhidos considerando a probabilidade de radiação de espalhamento através de dutos de exaustão ou de passagem, canaletas, aberturas de portas e a circulação e presença de pessoas.

Anteriormente ao posicionamento dos TLD, havia sido realizado um levantamento radiométrico em vários pontos em torno da blindagem utilizando-se um monitor portátil de radiação. Os dados da monitoração indicaram alguns pontos na parte superior da blindagem com taxas de dose próximas ao limite derivado, onde não permanecem pessoas durante o processamento de materiais. Somente três pontos na parte inferior da blindagem possuem taxas de dose um pouco acima do limite derivado para IOE. Também nestes pontos não permanecem pessoas durante a irradiação. Outros pontos de taxa de dose mais elevada que a radiação de fundo ocorrem devido à presença do contêiner de fontes armazenado temporariamente no fundo do Irradiador, próximo ao ponto 12 da Fig. 1.

Os dosímetros foram posicionados sobre placas de lucite para diminuir a influência do retroespalhamento da radiação pelo material base, que ocorre principalmente no caso de estruturas metálicas, como apresentados na Fig. 3.



Figura 3. Dosímetros termoluminescentes afixados em diferentes tipos de superfície utilizados na dosimetria de área do Irradiador Multipropósito.

2.5. Cálculo da Dose Equivalente para Fóton

A dosimetria de área fornece uma estimativa da dose efetiva que uma pessoa poderia receber se permanecesse no local próximo ao ponto monitorado. Com base nessas medições, as exposições possíveis de pessoas no local de trabalho e no meio ambiente são especificadas as medidas de proteção radiológica. A dosimetria de área avalia a dose equivalente em tecido mole, medida em um ponto específico.

A grandeza operacional utilizada neste trabalho foi a dose equivalente para fótons, H_x [10]. Para fótons com radiação máxima de 3 MeV o H_x deriva da exposição, X , equação 1 seguinte:

$$H_x = C_1 \cdot X \quad (1)$$

Onde $C_1 = 38,76 \text{ Sv} \cdot \text{C}^{-1} \cdot \text{kg}$ ($= 0,01 \text{ Sv/R}$)

Os resultados da avaliação dos TLD são dados em $\mu\text{C/kg}$ e então foram estimados os valores de H_x para os pontos monitorados neste trabalho.

3. RESULTADOS

A Fig. 4 apresenta os valores da exposição avaliados nos TLD dos pontos da monitoração de área e os respectivos valores de H_x estimados para 30 dias de monitoração contínua. O limite primário de $7200 \mu\text{Sv}/30$ dias de monitoração contínua, utilizado como referência no gráfico, foi calculado considerando o limite derivado para trabalhador de $10 \mu\text{Sv/h}$ (20 mSv 2000 horas de trabalho por ano).

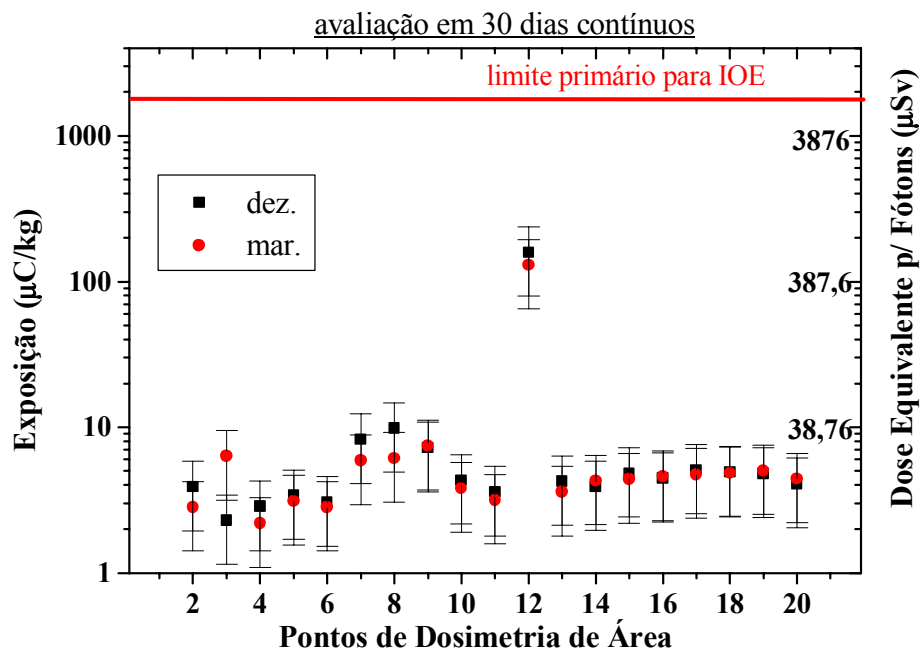


Figura 4. Valores de exposição nos pontos de dosimetria de área do Irradiador Multipropósito e a dose individual para fótons em 30 dias contínuos.

Considerando o limite de 1mSv/ano para o indivíduo do público (2000 h de trabalho da instalação), a taxa de dose é de 0,5 μ Sv/h e a dose integrada em 30 dias contínuos é de 360 μ Sv.

Os resultados na grandeza dosimétrica Exposição para fótons mostram que somente no ponto 12 o valor da Dose Equivalente eleva-se em relação aos demais, mas sua Dose Efetiva correspondente é inferior ao limite primário para IOE. Os demais pontos estão abaixo do limite para indivíduo do público, próximos à radiação natural de fundo. Este ponto de valor mais alto de exposição deve-se à presença de um contêiner contendo fontes seladas de ^{60}Co com atividade de 9,2 PBq armazenado temporariamente na parte de trás da blindagem do Irradiador.

Pode ser observado na Fig. 4 que as variações das exposições nos diversos pontos de monitoração antes e após a instalação das fontes dentro da piscina do Irradiador não foram significativas.

3. CONCLUSÕES

Os valores estimados da dose equivalente para fótons na maioria dos pontos monitorados encontram-se muito próximo à radiação natural de fundo. Após a remoção do contêiner armazenado temporariamente a exposição naquele ponto diminuirá provavelmente aos valores da radiação natural de fundo.

Pôde-se verificar que a segurança da instalação é adequada tanto para indivíduos ocupacionalmente expostos quanto para o público, em condições normais de trabalho. É importante enfatizar que como a exposição é muito baixa dentro da instalação e nas proximidades do prédio, não há impacto radiológico ambiental em situações normais de operação. Como os resultados demonstraram, as medidas de Radioproteção foram plenamente satisfatórias.

REFERÊNCIAS

1. W. A. P. Calvo, P. R. Relá, F. E. Springer, F. E. da Costa, N. M. Omi, L. G. e Silva, “A small size continuous run industrial gamma irradiator”, *Radiation Physics and Chemistry*, **71**, pp. 563-565 (2004).
2. Comissão Nacional de Energia Nuclear, **Diretrizes Básicas de Radioproteção**, CNEN-NE-3.01, Rio de Janeiro, Brazil (1998).
3. International Atomic Energy Agency, **Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities – Safety Series 107**, ISBN 92-0-101692-1, Vienna (1992).
4. International Atomic Energy Agency, **Assessment of Occupational Exposure Due to External Sources of Radiation - RS-Guide-1.3**, ISBN 92-0-101799-5, Vienna, ORPGUIDE 1 CD-ROM (1999).
5. J.E. Manzoli, V.P. Campos, M.S. Doi, “Avaliação do Limite de Repetitividade e de Detecção de Dosímetros de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ”. *Proceeding of METROSUL IV – IV Congresso Latino-Americano de Metrologia “A METROLOGIA E A COMPETITIVIDADE NO MERCADO GLOBALIZADO”*, Foz do Iguaçu, Paraná – BRASIL, 09 à 12 de novembro de 2004, CD-ROM.

6. H.E. Johns, J.R. Cunningham, *The Physics of Radiology*, Charles C. Thomas, 4^a ed., Springfield, pp. 220 (1983).
7. Desenvolvimento do Dosímetro Pessoal do IPEN - ensaios internos do LDT.
8. J.E. Manzoli, O. Manzoli Neto, "Algoritmo para Monitoramento Ambiental com Detector Passivo na Impossibilidade de Blindagem". *Proceeding of METROLOGIA-2003 – METROLOGIA PARA A VIDA, SOCIEDADE BRASILEIRA DE METROLOGIA (SBM)*, Recife, Pernambuco - BRASIL, 05 à 09 de setembro de 2003, CD-ROM.
9. J.E. Manzoli, V.P. Campos, "Selecionamento de Detectores de Radiação Segundo sua Sensibilidade e Viabilidade para Dosimetria Termoluminescente". *Proceeding of METROLOGIA-2003 – METROLOGIA PARA A VIDA, SOCIEDADE BRASILEIRA DE METROLOGIA (SBM)*, Recife, Pernambuco - BRASIL, 05 à 09 de setembro de 2003, CD-ROM.
10. W. G. Alberts, P. Ambrosi, J. Böhm, G. Dietze, K. Hohlfeld, W. Will, *New dose quantities in radiation protection*, PTB-Bericht Dos-23e, Braunschweig, Berlin, 1995 (ISBN 3-89429-932-0).