

3º Congresso Internacional de Radioproteção Industrial
23 a 25 de Setembro de 2002 – São Paulo/SP

APRESENTAÇÕES

ABENDE - Biblioteca
Tombo Classificação

T-15a

Evento **3º CONGRESSO DE RADIOPROTEÇÃO**

Data **25/09/2002**

Horário **09h00 - 10h30**

Auditório **IPEN**

Apresentador / Coordenador

Francisco César Augusto da Silva

Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD

"Dosimetria Reconstitutiva de Acidentes Radiológicos - Estudo de um Caso Brasileiro de Gamagrafia Industrial"

Co-Autores / Painelistas

John G. Hunt

Instituto de Radioproteção e Dosimetria

Adriana Ramalho

Instituto de Radioproteção e Dosimetria

Lívia M. F. Amalfi Pinto

Instituto de Radioproteção e Dosimetria

DOSIMETRIA RECONSTRUTIVA DE ACIDENTES RADIOLÓGICOS – ESTUDO DE UM CASO BRASILEIRO DE GAMAGRAFIA INDUSTRIAL.

Francisco Cesar Augusto Da Silva¹, John G. Hunt¹, Adriana Ramalho¹ e Livia M. F. Amalfi Pinto²

¹Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD
Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN
Av. Salvador Allende, s/n – Barra da Tijuca
22780-160 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil
e-mail: dasilva@ird.gov.br

²ARCtest - Serviços Técnicos de Inspeção e Manutenção Industrial Ltda
Avenida Constante Pavan, 495 - Betel
13.140-000 - Paulínia – SP
e-mail: protecao@arctest.com.br

RESUMO

Em maio de 2000, um Operador de Gamagrafia Industrial, durante um trabalho de manutenção de um irradiador de ⁶⁰Co, sofreu um acidente radiológico causando sérias conseqüências para a mão esquerda.

Os especialistas, atuantes no Grupo de Análise de Doses Elevadas (GADE/IRD/CNEN), iniciaram o trabalho de dosimetria reconstrutiva para a estimativa da dose de radiação, de modo a determinar a dose real recebida pelo Operador e auxiliar na avaliação médica, podendo assim, possibilitar prescrever os procedimentos médicos para o tratamento da vítima envolvida.

Este trabalho apresenta a dosimetria reconstrutiva realizada através da determinação das doses de radiação do Operador, através de métodos teóricos, experimentais e computacionais. Para o método computacional foi utilizado um programa para cálculo de dose externa, baseado no Método de Monte Carlo, e um simulador do corpo humano composto por voxels. São apresentados, também, os valores das doses efetivas e equivalentes causadoras de lesões sérias na mão do Operador.

Palavras Chaves: acidente radiológico, dosimetria reconstrutiva, gamagrafia industrial

I. O ACIDENTE RADIOLÓGICO

Em maio de 2000, durante um trabalho rotineiro de manutenção de um irradiador de ⁶⁰Co, tipo GAMMAT-TK100, com atividade de 2.109GBq, e específico para a prática de Gamagrafia Industrial, um Operador manteve a mão esquerda bem próxima à fonte radioativa, durante aproximadamente 30 segundos.

O acidente radiológico teve como causa falha de monitoração do irradiador durante a

manutenção e bloqueio da fonte radioativa dentro do canal interno do irradiador.

O Operador recebeu uma dose efetiva de 88,10mSv, registrada no monitor individual, e doses equivalentes nas mãos suficientes para provocar efeitos determinísticos com sérias lesões nos dedos da mão esquerda, 21 dias após a ocorrência do acidente radiológico.

II. ATUAÇÃO DO GADE/IRD/CNEN

O Instituto de Radioproteção e Dosimetria da CNEN (IRD/CNEN) ao ser comunicado, acionou o Grupo de Análise de Doses Elevadas (GADE/IRD/CNEN) [1] que, com seus especialistas, iniciou o trabalho investigação, reconstituição e acompanhamento do acidente radiológico.

A investigação consistiu na procura das causas reais do acidente radiológico objetivando retirar as lições para evitar futuros eventos. Foram realizadas simulações no próprio local do evento e investigação da causa da obstrução do canal interno do irradiado utilizando um endoscópio industrial.

A reconstituição realizada, através da dosimetria reconstitutiva, consistiu na determinação das doses de radiação do Operador, através de métodos teóricos, experimentais e computacionais, conforme postulado na "Metodologia de Análise de Acidentes Radiológicos em Gamagrafia Industrial" [2]. Para avaliação da dose através do método computacional foi utilizado um programa para cálculo de dose externa, baseado no Método de Monte Carlo, e um simulador do corpo humano composto por voxels [3]. Foi realizada, também, a dosimetria citogenética, através da análise das aberrações cromossômicas [4]. A dosimetria reconstitutiva teve como finalidade auxiliar na avaliação médica e possibilitar prescrever os procedimentos médicos para o tratamento da vítima envolvida.

O Operador acidentado teve acompanhamento médico especializado, conforme postulado nos procedimentos do GADE.

III. DOSIMETRIA RECONSTRUTIVA

De modo a ser estimado a dose equivalente recebida na mão do Operador foi necessário determinar a exata localização da fonte radioativa dentro do irradiador.

Tomando por base as doses de radiação que dão origem aos efeitos clínicos [5,6], neste caso estudado, o surgimento de bolhas 21 dias após a ocorrência do acidente radiológico, estipula-se uma dose equivalente nas mãos no intervalo de 12.000 a 20.000mGy. Com esses dados foram realizadas as seguintes etapas da dosimetria reconstitutiva:

- a. Determinação da dose equivalente através de Métodos Teóricos [2], utilizando a fórmula empírica do Inverso do Quadrado da Distância e, Dados da Literatura, principalmente a NCRP 40. Foi suposto que a fonte radioativa estava livre emitindo radiação gama isotropicamente no ar. Variou-se a distância fonte ponto de interesse, conforme apresenta a figura 1 e obteve-se os seguintes resultados, apresentados na tabela 1, extrapolados para as condições do acidente radiológico (2.109GBq e 30 segundos).

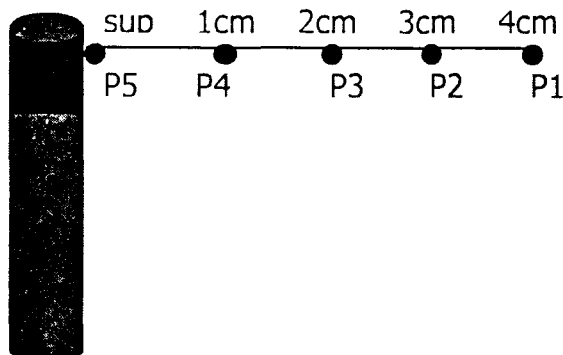


Tabela 1: Resultados da estimativa usando métodos teóricos.

Pontos	Distância	Dose equivalente (mGy)	
		Fórmula	NCRP40
P1	4cm	3.900	*
P2	3cm	6.900	4.500
P3	2cm	15.500	*
P4	1cm	61.700	32.300
P5	superfície	6.169.000	591.500

* Dado não postulado na literatura.

Observa-se uma total discrepância entre os valores obtidos teoricamente, o que leva a concluir que, para pequenas distâncias entre a fonte radioativa e o ponto de interesse, não se pode utilizar a fórmula empírica do Inverso do Quadrado da Distância. Com relação aos dados da literatura da NCRP40, leva-se a concluir que possivelmente a mão do Operador não estava em contato direto com a fonte radioativa (posição P5).

- b. Determinação da dose equivalente através de Métodos Experimentais, utilizando a técnica de Levantamento Radiométrico. Para essa reconstituição dosimétrica utilizou-se um

irradiador de Gamagrafia Industrial da mesma marca e modelo do acidente radiológico, com uma fonte radioativa de 240,50GBq e um monitor de radiação com sonda telescópica. A simulação, realizada nas instalações da empresa ARCTEST, em São Paulo, consistiu no deslocamento da fonte radioativa até a saída do irradiador e mediu-se a taxa de dose às distâncias pré-estabelecidas. A figura 2 apresenta a simulação da reconstrução e os resultados são apresentados na tabela 2, extrapolados para as condições do acidente radiológico (2.109GBq e 30 segundos).

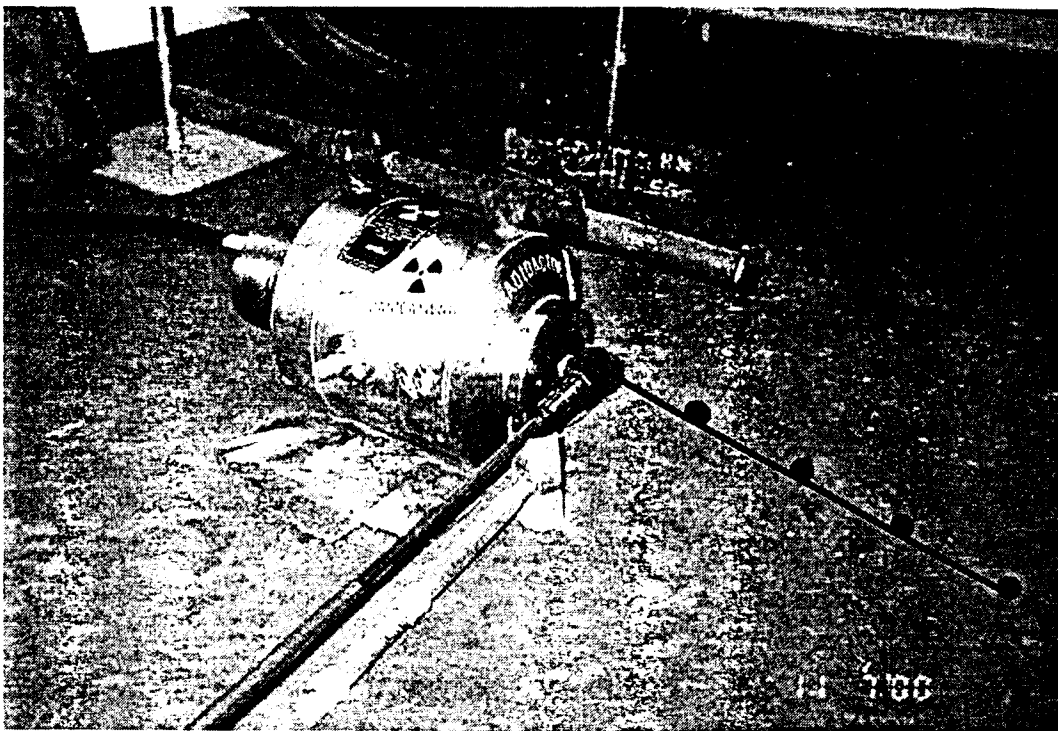


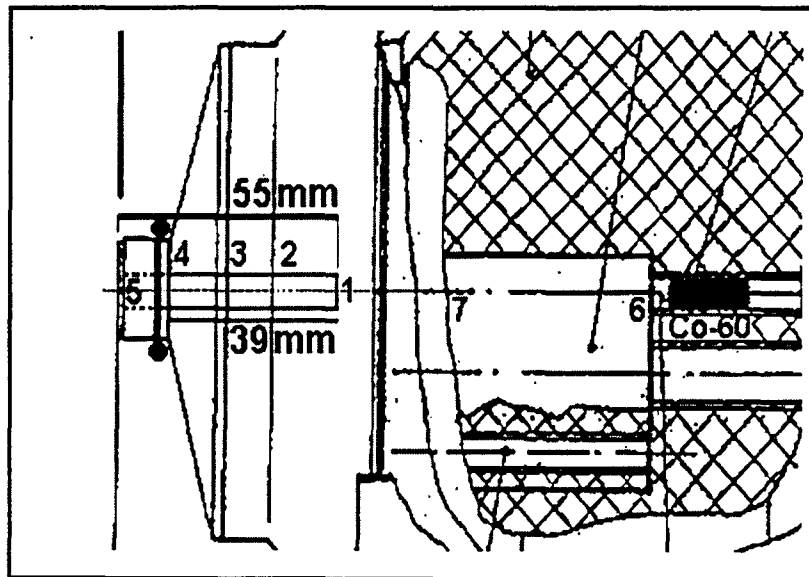
Tabela 2: Resultados da estimativa de dose usando o método experimental.

Pontos	Distância	Dose equivalente (mSv)
		Levantamento Radiométrico
P1	4cm	640
P2	3cm	>730 (>24mSv/seg)
P3	2cm	*
P4	1cm	*
P5	superfície	*

* Essas medidas ultrapassaram a capacidade de escala do monitor de radiação (10Sv/h).

Esses resultados levaram a concluir que a fonte radioativa, durante o acidente radiológico, só poderia estar localizada a uma distância de 1, 2 ou 3 cm para dentro do irradiador (posição P2, P3 e P4), a partir da saída. Os valores estimados na posição P5,

isto é, na própria saída do irradiador estando a fonte radioativa em contato direto com os dedos foi considerada improvável. A figura 3 mostra as possíveis localizações da fonte radioativa no tubo interno dentro do irradiador.



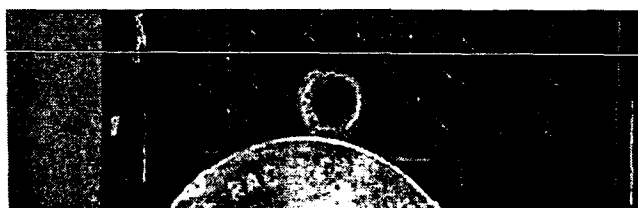
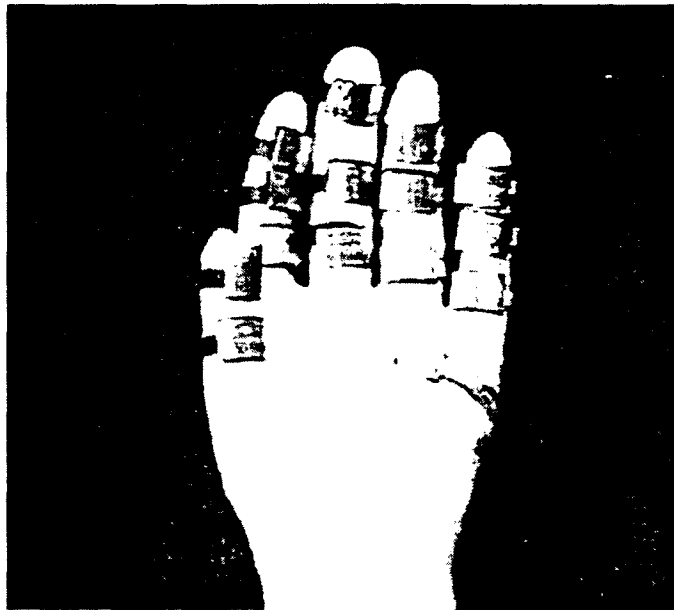
c. Determinação da dose equivalente através de Métodos Experimentais, utilizando um simulador de mão e dosímetros termoluminescentes. Continuando com o mesmo irradiador de Gamagrafia Industrial foi realizado a dosimetria reconstitutiva simulando as condições do acidente radiológico, onde a mão do Operador ficou próxima à fonte radioativa na saída do irradiador, conforme é mostrado na figura 4. Elaborou-se um

simulador de mão e foram colocados 15 dosímetros termoluminescentes para um mapeamento da dose equivalente, conforme mostra a figura 5. As irradiações foram realizadas com a fonte radioativa nas posições P2, P3 e P4 referente a figura 3. A figura 6 apresenta a simulação da reconstrução e os resultados são apresentados na tabela 3, extrapolados para as condições do acidente radiológico (2.109GBq e 30 segundos).



Tabela 3: Resultados das irradiações simuladas na dosimetria reconstitutiva com simulador de mão.

Mão	Dose equivalente superficial nas posições simuladas (mGy)		
	P4 – 1cm	P3 – 2cm	P2 – 3cm
Dedo polegar	15.400	6.500	5.500
Dedo indicador	13.000	9.100	6.200
Dedo médio	1.400	1.700	720
Dedo anelar	1.000	1.000	210
Dedo mínimo	660	670	70
Palma	2.184	1.200	650



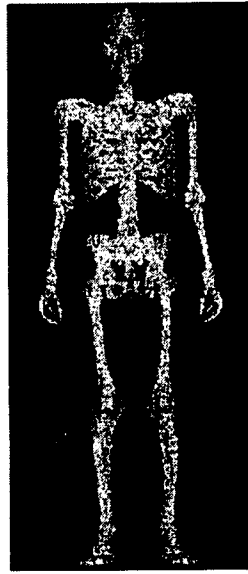
d) Determinação da dose efetiva através de Métodos Computacionais. Para avaliação da dose foi utilizado um programa utilizando o Método de Monte Carlo adaptado para o cálculo de dose externa, tendo como simulador de um corpo humano composto por voxels, o Simulador Voxel NORMAN, conforme mostra a figura 7. Estando o programa validado [7], foram rodadas 5 milhões de estórias para se estimar as doses

efetivas e equivalentes, nos principais órgãos, simulando o Operador recebendo um feixe de radiação gama do cobalto-60 numa posição frontal, variando-se a distância fonte-alvo. Os resultados da simulação computacional são apresentados na tabela 4, extrapolados para as condições do acidente radiológico (2.109GBq e 30 segundos).

Tabela 4: Resultados da simulação computacional no Simulador Voxel NORMAN

Órgão	Dose de radiação de acordo com a distância fonte-alvo		
	d=20cm	d=30cm	d=40cm
H _p (10)	43 mSv	30 mSv	20 mSv
Cristalino	11 mGy	14 mGy	11 mGy
Tireóide	13 mGy	13 mGy	10 mGy
Gônadas	43 mGy	30 mGy	21 mGy
Efetiva	50 mSv	34 mSv	23 mSv

(0,0,871)



(0,0,0)

(0,277,0)

IV. RESULTADOS

A metodologia utilizada de dosimetria reconstitutiva foi eficaz para determinar as doses de radiação recebidas pelo Operador durante o acidente radiológico em Gamagrafia Industrial.

No que se refere a simulação computacional usando o Simulador Voxel NORMAN, observou-se

que os resultados apresentam-se bem próximos do que foi realmente medido. A simulação computacional das doses equivalentes na mão do Operador ainda está em desenvolvimento.

A tabela 5 apresenta as doses equivalentes final recebidas pela mão do Operador.

Tabela 5: Resultado final da dosimetria reconstitutiva do acidente radiológico em Gamagrafia Industrial.

Mão	Dose equivalente superficial (mGy)
Dedo polegar	15.400
Dedo indicador	13.000
Dedo médio	1.400
Dedo anelar	1.000
Dedo mínimo	660
Palma	2.184

Essas doses equivalentes ocasionaram sérias

lesões para a mão do Operador, como é mostrado na figura 8.



Agradecimentos. Os autores agradecem a empresa de Gamagrafia Industrial ARCTEST - SERVIÇOS TÉCNICOS DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO INDUSTRIAL LTDA por ter colaborado na simulação experimental. Agradecem, também, à Divisão de Monitoração Externa do IRD/CNEN por ter realizado os estudos e leitura dos dosímetros termoluminescentes.

Referências.

- [1] Da Silva, F.C.A.; Ramalho A . Activities of the Institute of Radiation Protection and Dosimetry on Radiation Overexposure Analysis – Results from 1994 to 1997. IV Congreso de Seguridad Radiológica y Nuclear – Congreso Regional IRPA, Habana, Cuba 1998.
- [2] Da Silva, F.C.A.: Metodologia de Análise de Acidentes Radiológicos em Gamagrafia Industrial. Tese de Mestrado, IME, Brasil, 1990.
- [3] Hunt, J.G.: Calibração de um Sistema de Medida in vivo através da Simulação da Fonte de Radiação e do Detector utilizando-se a Técnica de Monte Carlo. Tese de Doutorado, UERJ, 1998.
- [4] Ramalho, A.T; Costa, M.L.P.; Oliveira, M.S.; Da Silva, F.C.A. Dosimetria Biológica em Casos de

Superexposição Ocupacional a Radiações Ionizantes. IV Congreso de Seguridad Radiológica y Nuclear – Congreso Regional IRPA, Habana, Cuba 1998.

- [5] International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of International Commission on Radiological Protection. Oxford: Pergamon Press; ICRP Publication 60, 1991.
- [6] International Atomic Energy Agency. Medical Handling of Accidently Exposed Individual. Safety Series 88, IAEA, 1988.
- [7] Hunt, J. G.; Da Silva F. C. A; Dantas, B. M. and Azeredo, A . M. G. F. *Application of Voxel Phantoms and Monte Carlo Methods to Internal and External Dosimetry.* In 10th International Congress of the International Radiation Protection Association, Hiroshima, IRPA – 10 , Proceedings and Abstracts, v.1, n.1, p. 78-78.

ABSTRACT

In May 2000, an Operator of Industrial Gammagraphy, during a work of maintenance of a cobalt source irradiator, suffered a radiological

accident that caused serious consequences for his left hand.

Specialists, who work in the Group of Overexposure Analysis (GADE/IRD/CNEN), began the reconstructive dosimetry for estimate the radiation dose. The objective was to determine the real dose received by the Operator and to make possible the medical evaluation and to prescribe the medical procedures for the involved victim's treatment.

This work presents the reconstructive dosimetry done by theoretical, experimental and computation methods for determination the radiation doses of the Operator. Related to the computation method a program was used for external dose calculation based on Monte Carlo's Method and a human body simulator composed by voxels. It is also showed values of the effective and equivalent doses that caused serious lesions in the Operator's hand.