

Instituto de Radioproteção e Dosimetria

Adriana Elisa Barboza

Cíntia Pinheiro de Souza Martins

Metodologia de Investigação de Doses Elevadas em Instalações de  
Radiodiagnóstico Médico

Rio de Janeiro

2012

Adriana Elisa Barboza

Cíntia Pinheiro de Souza Martins

Metodologia de Investigação de Doses Elevadas em Instalações de  
Radiodiagnóstico Médico

Trabalho de Conclusão do Curso de Pós-Graduação em Proteção Radiológica  
e Segurança de Fontes Radioativas apresentado ao  
Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD

Orientador: Dr. Francisco Cesar Augusto da Silva

Rio de Janeiro

Setembro / 2012

Barboza, Adriana Elisa  
Martins, Cintia Pinheiro de Sousa

Metodologia de Investigação de Doses Elevadas em Instalações de Radiodiagnóstico Médico. / Adriana Elisa Barboza e Cintia Pinheiro de Sousa Martins / - Rio de Janeiro, 2012.

39f.; 30 cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação Lato Sensu em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas) – Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) / CNEN, 2012.

Bibliografia: f.39.

1. Exposição ocupacional, doses elevadas
2. Monitoração individual, proteção radiológica, radiodiagnóstico.

II. Título



## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto de muitas colaborações; agradeço a todos os que de uma forma direta ou indireta tenham ajudado a realizá-lo.

Em especial agradecemos:

Ao Prof.<sup>o</sup> Francisco Cesar Augusto da Silva, pela orientação científica, compreensão, amizade e sobre tudo pela confiança a nós depositada.

A Prof.<sup>a</sup> Mônica Stuck de Oliveira e Prof.<sup>o</sup> Luís Ribeiro de Freitas Cruz por compartilharem seus conhecimentos.

Agradecemos à banca examinadora: Prof.<sup>a</sup> Claudia Cristina Braga, Prof.<sup>a</sup> Maria de Fátima de Andrade Magon e Prof.<sup>o</sup> Antônio Manuel Rodrigues Silva, por gentilmente nos ceder parte do seu tempo para avaliar e contribuir com esse trabalho.

Agradecemos aos nossos familiares e maridos, pelo apoio e compreensão.

A todos os professores do Curso de Pós-graduação - Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas, que no decorrer deste período, contribuíram nos transmitindo seus conhecimentos e nos permitindo crescer intelectualmente.

Todo nosso carinho e admiração ao Coordenador de ensino, Aucyone Augusto da Silva, por acreditar em nós e nos fortalecer com seus incentivos.

A nossa amiga Sarah Fernandes, pelo seu apoio e seu alto astral.

A Deus, por nos fortalecer a cada manhã e nos ajudar a concluir este trabalho.

## RESUMO

Esse trabalho teve como finalidade principal estudar a exposição ocupacional no radiodiagnóstico médico registrando casos de doses elevadas no ano de 2011 a nível nacional.

Essas doses foram registradas através da monitoração individual dos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE's). Essa monitoração das doses recebidas por radiações ionizantes tem como objetivo principal garantir que o princípio da limitação de dose seja respeitado.

Para a realização desse estudo foram avaliadas as doses de 372 IOE's no radiodiagnóstico de diferentes estados brasileiros. As doses foram extraídas do banco de dados do Setor Gerencia de Doses do IRD/CNEN.

As informações do banco de dados nos fornecem relatos de dose de usuários vários Estados, o que nos permite quantificar estatisticamente, evidenciando os que receberam as maiores doses em quatro vertentes: dose maior ou igual a 20 mSv avental e tórax e dose maior ou igual a 100 mSv avental e tórax.

A identificação das doses de usuários destes Estados permite que a Vigilância Sanitária (VISA) responsável tome ciência das ocorrências e trabalhe com planejamentos para redução destes acontecimentos.

Esse estudo ajudou a esclarecer os procedimentos necessários quando há o registro de dose elevada ressaltando a importância do uso dos equipamentos de proteção radiológica, dosímetro e de oferecer um ambiente de trabalho seguro através das condições de adequação das instalações.. Propõe um contínuo treinamento dos profissionais, enfatizando a relevância dos conceitos de proteção radiológica, a utilização do questionário investigativo e a sequência sistemática que permitirá, com rapidez e eficiência, o sucesso das investigações.

**Palavras-chave:** Exposição ocupacional, doses elevadas, monitoração individual, proteção radiológica, radiodiagnóstico

## ABSTRACT

This work has as main purpose to study occupational exposure in radiodiagnosis registering cases of high doses in 2011 nationally.

These doses were recorded by individual monitoring of occupationally exposed individuals (IOE's). This monitoring of the doses received by ionizing radiation has as main objective to ensure that the principle of dose limitation is respected. To conduct this study evaluated doses of 376 IOE's radiology in different states. Doses were extracted from the database Sector Manages Dose IRD / CNEN. The information in the database provide reports of various dose of states, which allows us to quantify statistically, showing those with the highest levels in four types of doses occurrences: doses <20 mSv apron and chest and doses > 100 mSv apron and chest .

The identification of these states allows the VISA authority charge becomes aware of events and work with plans to reduce these events. This study helped clarified the procedures required when there is a registration high dose emphasizing the importance of using protective equipment radiological dosimeter and offer a desktop-guro is through the maintenance of equipment. Proposes a continuum professional training, emphasizing the relevance of the concepts of radiological protection, the use of the investigation questionnaire and systematic sequence that allow fast and efficiently, the success of investigations.

**Key-words:** Occupational exposure, high doses, individual monitoring, radiation protection, diagnostic radiology

## Lista de ilustrações

Figura 1	Aparelho de Radiologia Convencional .....	12
Figura 2	Aparelho Odontológico Extra-oral .....	13
Figura 3	Aparelho Odontológico Intra-oral .....	13
Figura 4	Aparelho de Mamografia .....	13
Figura 5	Aparelho de Densitometria .....	14
Figura 6	Aparelho de Tomografia Computadorizada .....	14
Figura 7	Aparelho de Hemodinâmica .....	15
Figura 8	Equipamento de Fluoroscopia .....	16
Figura 9	Monitores de Radiação .....	17
Figura 10	Equipamentos de Proteção Individual .....	18
Figura 11	Câmara de Ionização .....	25
Figura 12	Dispositivo para Teste de Tamanho de Campo .....	26
Figura 13	Dispositivo para Teste de Alinhamento do Feixe .....	26
Figura 14	Diavolt .....	26
Figura 15	Efeito da Radiação na Célula .....	29
Figura 16	Cromossoma .....	29
Figura 17	Formação de Dicêntricos e Anéis Centricos .....	30
Figura 18	Preparação para Cultura de Linfócitos .....	30
Figura 19	Preparação para Análise dos Linfócitos .....	31
Figura 20	Análise de Aberrações Cromossômicas .....	31

## Lista de tabelas

Tabela 1	Limites de Doses Individuais .....	17
Tabela 2	Faixa de dose – procedimentos .....	20

## SUMÁRIO

I. INTRODUÇÃO	10
II. OBJETIVO	11
III. JUSTIFICATIVA	11
IV. METODOLOGIA	12
IV.1 - Radiodiagnóstico Médico	12
IV.2 - Regulamentação da Área de Radiodiagnóstico	16
IV.3 - GADE – Grupo de Análise de Doses Elevadas	19
IV.4 - Investigação de Doses Elevadas	23
IV.4.1 – Entrevista com os Trabalhadores Envolvidos	23
IV.4.2 - Análise dos Equipamentos	24
IV.4.2.1 – Teste de Radiação de Fuga	25
IV.4.2.2 – Levantamento Radiométrico	25
IV.4.2.3 - Sistema de Colimação e Alinhamento do Eixo Central do Feixe de Raios X	25
IV.4.2.4 - Exatidão e Reprodutibilidade da Tensão do Tubo	26
IV.4.2.5 - Reprodutibilidade e Linealidade da Taxa de Kerma no Ar	26
IV.4.2.6 - Rendimento do Tubo de Raio-x	27
IV.4.2.7 - Exatidão e Reprodutibilidade do Tempo de Exposição	27
IV.4.2.8 - Reprodutibilidade do Controle Automático de Exposição	27
IV.4.2.9 - Camada Semi-redutora	27
IV.4.3 – Exames Médicos Necessários	27
IV.4.3.1 - Análise Clínica	28
IV.4.3.2 - Exame Hematológico	28
IV.4.3.3 – Espermograma	28
IV.4.3.4 - Exame Oftalmológico	29
IV.4.3.5 - Exame de Citogenética	29
IV.4.4 – Ações Administrativas	32
IV.4.4.1 – Investigação do Evento	32
CONCLUSÕES	36
V. RECOMENDAÇÕES	37
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
ANEXO A. ROTEIRO DE ENTREVISTA	
ANEXO B. MANUAL DE TESTES	



## 1. INTRODUÇÃO

A radiologia diagnóstica ou radiodiagnóstico é a especialidade médica e/ou odontológica que utiliza radiação ionizante (raios-X) para obter um diagnóstico. Ela possui várias áreas de aplicação: radiologia convencional, mamografia, tomografia computadorizada e radiologia intervencionista.

O radiodiagnóstico evoluiu muito desde a sua descoberta. Essa evolução tecnológica deve-se ao aperfeiçoamento das técnicas, a qualidade da imagem, ao desenvolvimento de novos equipamentos e as melhorias inseridas na proteção do paciente. Com esses fatores, a aplicação dos raios-X para auxiliar no diagnóstico médico é cada vez maior, no entanto, tal exposição controlada à radiação deve estar associada diretamente ao benefício que o paciente terá, não se esquecendo dos possíveis detrimientos que a radiação possa causar à saúde do paciente e dos profissionais envolvidos no exame.

Os profissionais da área de saúde estão expostos a diversos fatores de risco ocupacional no ambiente hospitalar. A legislação brasileira considera como fator de risco, toda característica ou circunstância que acompanha um aumento de probabilidade de ocorrência de um fato indesejado, considerando a sua gravidade em certo período de tempo.

O risco radiológico para os profissionais do radiodiagnóstico é a grande preocupação da proteção radiológica de um hospital ou clínica. Por isso foram estabelecidos normas e regulamentos para essa proteção, que nesse caso é a Portaria nº 453, de 01 de junho de 1998, que aprova o Regulamento Técnico que “estabelece as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico, dispõe sobre o uso dos raios-x diagnósticos em todo território nacional e dá outras providências”, emitida pela Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde. Um dos itens importantes deste regulamento é a limitação de dose efetiva para exposições ocupacionais, sendo estabelecido em 20mSv na média de 5 anos consecutivos, não podendo exceder 50mSv em nenhum ano.

Diante disso, faz-se necessário o uso de monitor individual de dose para a monitoração da exposição dos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE's) a radiação ionizante. Os monitores são individuais e intransferíveis e devem ser usados no local para o qual foram destinados durante toda a rotina de trabalho. A leitura de cada monitor individual é feita mensalmente por um laboratório de dosimetria especializado e certificado pelo IRD/CNEN. Quando o monitor individual não estiver sendo utilizado, o mesmo deve ser guardado em local seguro, próximo ao dosímetro de referência ou padrão e longe de radiação.

Nos casos em que houver um registro mensal de dose elevada no monitor individual, isto é, dose maior ou igual a 20 mSv, o laboratório de dosimetria comunica imediatamente à Instituição do radiologista e a Gerência de Dose do IRD/CNEN para as devidas providências.

A Instituição, de acordo com as normas da ANVISA providencia uma investigação sobre o evento e a Gerência de Dose, de acordo com os procedimentos internos, comunica ao Grupo de Análise de Doses Elevadas (GADE/IRD) para acompanhamento e investigação. Por sua vez, o GADE/IRD comunica e orienta as Vigilâncias Sanitárias sobre a dose elevada.

Em 2011 foram constatados 372 casos de doses maiores ou iguais a 20mSv/mês, sendo 91 casos com doses maiores ou iguais a 100 mSv/mês.

## **2. OBJETIVO**

Propor uma Metodologia de Investigação de Doses Elevadas, em Instalações de Radiodiagnóstico, para uso tanto das Vigilâncias Sanitárias como para as Instituições envolvidas, quando as doses de radiação, registradas nos monitores individuais de Indivíduos Ocupacionalmente Expostos forem iguais ou maiores que 20 mSv/mês.

## **3. JUSTIFICATIVA**

O GADE/IRD/CNEN comunica para as VISA Estaduais todas as doses iguais ou maiores que 20 mSv de IOE que trabalham em Instalações de Radiodiagnóstico. No ano de 2011 foram comunicados 372 casos suspeitos de doses elevadas.

De acordo com a Portaria 453/1998, parágrafo 3.47: (i) os titulares devem comunicar à autoridade sanitária local os resultados mensais acima de 3/10 do limite anual, juntamente com um relatório das providências que foram tomadas. (ii) quando os valores mensais relatados de dose efetiva forem superiores a 100 mSv, os titulares devem providenciar uma investigação especial e, havendo uma provável exposição do usuário do dosímetro, devem submeter o usuário a uma avaliação de dosimetria citogenética.

Dentre as atividades das VISA, relativas às doses elevadas, estão a investigação e auditoria para ratificar ou retificar as doses, de acordo com os relatórios das instituições.

De modo a harmonizar e padronizar uma investigação detalhada de casos suspeitos de doses elevadas há necessidade de uma metodologia que oriente os auditores das VISA bem como as Instituições envolvidas nesses casos. Isto contribuirá bastante para a melhoria da radioproteção para o controle das doses ocupacionais na área de radiodiagnóstico.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Radiagnóstico Médico

O estudo anatômico do corpo humano é necessário para diversos ramos da medicina. Abrange desde a descoberta de estruturas e sistemas até a observação do comportamento dos mesmos. Proporciona, da maneira menos invasiva possível, uma imagem nítida da estrutura analisada, viabilizando o diagnóstico.

As áreas de atuação do radiodiagnóstico médico que trabalham com radiações ionizantes dividem-se em: Raio-X convencional (Figura 1), Raio-X Odontológico (Figuras 2 e 3), Mamografia (Figura 4), Densitometria Óssea (Figura 5), Tomografia Computadorizada (Figura 6), Radiologia Intervencionista (Figura 7) e Fluoroscópica (Figura 8). Essas duas modalidades citadas por último, diferencia-se das demais por permitir um exame dinâmico com visualização da área estudada em tempo real.

- Raios-X Convencional - Os feixes de raios-X transmitidos através do paciente, impressionam o filme radiográfico, o qual, uma vez revelado, proporciona uma imagem que permite distinguir estruturas e tecidos com propriedades diferenciadas. Em relação à probabilidade de ocorrência dos efeitos fotoelétricos e Compton, obtêm-se imagens radiográficas que, mostram tonalidades de cor cinza bem variadas, conforme a densidade.

Durante a realização deste exame, visando a proteção radiológica é imprescindível que o indivíduo ocupacionalmente exposto (IOE) esteja protegido atrás do biombo fixo durante a exposição do feixe, exceto nos casos que o IOE seja obrigado segurar o paciente. Neste caso se faz necessário o uso de equipamentos de proteção individuais (EPI's) portando o dosímetro sobre o avental.



Figura 1. Aparelho de Radiologia Convencional

- Raios-X Odontológico - é similar ao convencional, mas com propriedades diferentes. Tem por finalidade avaliar as estruturas e elementos da cavidade bucal. Em

geral, o aparelho mais utilizado é o de radiografia periapical, fixos ou móveis, que realizam exames intra-orais. Já, os exames extra-orais são realizados pelo equipamento de radiografia panorâmica, presente apenas nos centros especializados em radiologia Odontológica devido suas dimensões e alto custo.

No ponto de vista da radioproteção, é recomendado que as paredes sejam blindadas e que os dentistas e/ou ACD se posicionem durante as exposições a uma distância mínima de 2 m ou atrás de um biombo de Pb durante as exposições.



Figura 2. Aparelho Odontológico  
Extra-oral



Figura 3. Aparelho Odontológico  
Intra-oral

- Mamografia - Tem como finalidade estudar o tecido mamário. Esse tipo de exame pode detectar nódulos de tamanho mínimo, sendo uma das vantagens do uso da mamografia a detecção de um câncer de mama, antes de ser palpável e de se manifestar clinicamente. Este diagnóstico é feito numa fase muito precoce da doença, sendo geralmente associado a um melhor prognóstico para a cura e a necessidade de um tratamento menos agressivo para o controle do câncer em alguns casos. Para tanto é utilizado um equipamento que utiliza uma fonte de raios-x, para obtenção de imagens radiográficas do tecido mamário. Dentro do prisma da radioproteção recomenda-se ao IOE que permaneça atrás do biombo durante as exposições radiográficas.



Figura 4. Aparelho de Mamografia

- Densitometria Óssea - é uma medida quantitativa da massa óssea que permite o diagnóstico e o seguimento de tratamento da osteoporose, bem como a avalia-

ção do risco de fratura. É um exame simples, rápido e de fácil execução, que se baseia na dupla emissão de raios X.

Embora a taxa de dose neste exame seja pequena comparada aos demais exames citados, deve-se levar em consideração o número de exames realizados por dia, por esse motivo é importante que o IOE faça uso do avental de chumbo, protegendo-se dos efeitos estocásticos.



Figura 5. Aparelho de Densitometria

- Tomografia Computadorizada - é um exame diagnóstico que produz imagens com grande clareza de qualquer parte do interior do corpo humano.

É constituído de um aparelho de Raios X muito complexo. Nas máquinas de tomografia a ampola que emite os Raios X gira totalmente em volta do corpo do paciente e a medida em que gira, emite Raios X em 360 graus, ou seja, fazendo uma circunferência completa em torno do paciente.

Recomenda-se que o IOE permaneça na sala de comando (blindada e visor de vidro pumbífero) durante os exames.

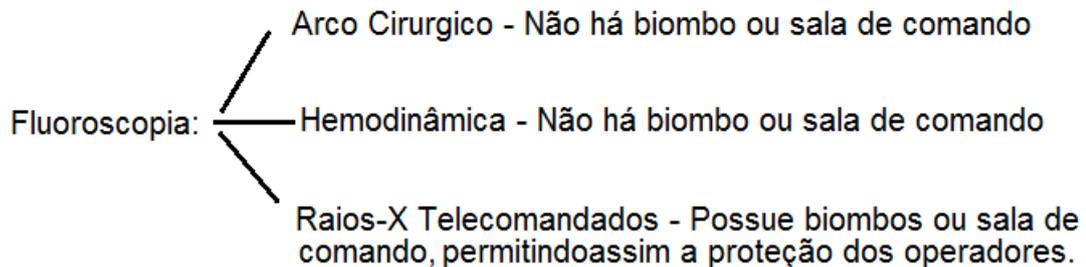


Figura 6. Aparelho de Tomografia Computadorizada

Seguindo as recomendações de radioproteção, as exposições médias de um IOE nos setores de Densimetria Óssea e Tomografia, tangem em doses tão baixas

que são avaliadas como nulas, considerando o reparo celular.

- Radiologia Intervencionista - possui um sistema dinâmico de aquisição de imagens, que permite que as imagens sejam vistas em tempo real durante o procedimento, assim como a Fluoroscopia.



Existem três grandes áreas dentro da radiologia intervencionista / Fluoroscopia: a hemodinâmica, onde o cardiologista observa o coração nas distintas fases do ciclo cardíaco através do contraste injetado; a neuroradiologia, que se encarrega dos vasos do sistema nervoso central e a radiologia vascular periférica, na qual o médico radiologista explora o resto do corpo excluindo o coração e o sistema nervoso central (SILVA, 2004).

A radioproteção nestes procedimentos exige uma atenção significativa, pois são exames de grande exposição, geralmente demorados e composto por uma equipe de no mínimo 3 profissionais. O uso de avental longo de 0,5 mm de Pb, óculos pumbífero, protetores de tireoide, luvas de chumbo... faz-se necessário para todo corpo clínico que realiza o exame.

Segundo GRONCHI et al.(2003) e HENDERSON (1994), os médicos residentes, estagiários e anestesistas recebem doses superiores ao limite de dose determinada pela Portaria 453 que corresponde a 20 mSv/ano.

A falta de conhecimento dos riscos radiológicos, somada a falta de procedimentos de trabalho que visem a menor exposição da equipe, assim como a manutenção precária ou inexistente dos equipamentos e as características dos procedimentos de hemodinâmica realizados, entre outros fatores, colaboram significativamente para o aumento das doses destes profissionais.



Figura 7. Aparelho de Hemodinâmica



Figura 8. Equipamento de Fluoroscopia

#### 4.2 Regulamentação da Área de Radiodiagnóstico

A regulamentação da área do radiodiagnóstico é feita pela Secretaria de Vigilância Sanitária, através da Portaria SVS 453, de 1 de junho de 1998 do Ministério da Saúde, que estabelece parâmetros e diretrizes para o controle das exposições ocupacionais, médicas e do público.

Sua estrutura é derivada dos princípios de proteção à radiações aplicadas pela *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) que analisa e propõe recomendações para as situações nas quais os seres humanos são expostos a radiação ionizante.

A estrutura de proteção radiológica é composta de 3 princípios básicos: justificação da prática, otimização e limitação das doses individuais.

- Princípio da Justificação: nenhuma prática envolvendo exposição à radiação deve ser adotada a menos que produza, pelo menos, benefício suficiente para o indivíduo exposto ou para a sociedade, para compensar o detrimento causado pela radiação.
- Princípio da Otimização (ALARA): estabelece que as instalações e as práticas devem ser planejadas, implantadas e executadas de modo que a magnitude da dose individual, o número de pessoas expostas e a probabilidade de exposições acidentais sejam tão baixas quanto razoavelmente exequíveis.
- Limites Individuais de Dose: são valores de dose efetiva ou equivalente, estabelecidos para exposição ocupacional ou do público, decorrentes de práticas controladas, cujas magnitudes não devem ser excedidas. Não são aplicadas em caso de exposição médica. Os limites de doses individuais encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Limites de Doses Individuais – Portaria 453/98

LIMITES DE DOSES INDIVIDUAIS			
GRANDEZA	ÓRGÃO	INDIVÍDUO OCUP. EXPOSTO (IOE)	INDIVÍDUO DO PÚBLICO
Dose Efetiva	Corpo Inteiro	20 mSv	1 mSv
	Corpo Inteiro (Mulheres grávidas – feto)	1 mSv	1 mSv
Dose Equivalente	Cristalino	150 mSv*	_____
	Pele	500 mSv	_____
	Mãos e Pés	500 mSv	_____

\* Limiar alterado pela resolução 114/2011 - CNEN.

No controle das doses ocupacionais o dosímetro individual (Figura 9) é um dispositivo obrigatório nas atividades com radiações ionizantes. São utilizados para determinar as doses de radiação recebidas pelo indivíduo.

Sua aplicação na monitoração das doses pessoais recebidas pelos IOE's, têm por objetivos garantir condições satisfatórias de trabalho a partir da estimativa das doses recebidas. Para isso, é necessário que seja utilizado rotineiramente e corretamente a fim de que permita avaliar não só as condições de trabalho como também situações anormais de exposição à radiação (acidentes).

O dosímetro é de uso pessoal e intransferível. O trabalhador não deve utilizar o mesmo dosímetro em dois locais de trabalho, devendo possuir um para cada local de trabalho. Deve ser utilizado ao nível do tórax e ser mantido em local seguro, próximo ao dosímetro de referência ou padrão e longe de radiação,



Figura 9. Dosímetros Individuais

No radiodiagnóstico médico, a proteção contra radiação secundária é feita através de biombo fixo ou sala de comando, com exceção da radiologia intervencionista ou quando há necessidade de ser feito exame no leito. Nesses casos podem ser aplicados: a distância da fonte emissora de radiação, mínima de 2m, e uso de EPI's plumbíferos como aventais, protetores de tireoide e óculos (Figura 10).



**Figura 10. Equipamentos de Proteção Individual**

Nos casos de dose elevada, como na área da radiologia intervencionista, o laboratório de monitoração comunica a instituição que recebeu a dose e a Gerência de Dose (GDose) – IRD/CNEN. Se for maior ou igual 4 mSv o GDose comunica ao Grupo de Análise de Doses (GADE). Quando a dose é maior ou igual 20 mSV, o GADE comunica a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), dando o suporte técnico necessário.

A ANVISA, no processo da construção do Sistema Único de Saúde (SUS), descentralizou as ações de saúde por estados e municípios. Foi feito um contrato de gestão e esse documento foi firmado entre o Ministério da Saúde e a ANVISA criando as VISA's que tem por objetivo promover e proteger a saúde da pública, por meio do controle e da abolição de fatores prejudiciais à população. Desta forma, é atribuição da VISA realizar um trabalho de prevenção, por meio de fiscalizações (inspeções sanitárias) e orientações em relação aos riscos. No radiodiagnóstico o seu objetivo é fiscalizar visando a redução de exposição dos pacientes, do público e dos profissionais à radiação ionizante e a adoção de normas vigentes, dentre outras atribuições.

Na primeira etapa da inspeção sanitária (Geral) é realizada a avaliação documental do serviço (licença sanitária, certificado de qualificação dos profissionais, contrato de trabalho, teste de aceitação, levantamento radiométrico, assentamento de PGQ e contrato de manutenção). (NAVARRO, Vinícius Teixeira. 2009).

Na segunda etapa (Sala de Exames), são verificados os indicadores de adequação à norma relativos ao equipamento de raios-x, mesa radiográfica, grade antidifusora, filme radiográfico, chassi, écran e ambiente. (NAVARRO, Vinícius Teixeira. 2009).

A terceira etapa (Sala de Processamento) são verificadas se estão satisfeitas as condições necessárias, para que todas as informações diagnósticas, que foram produzidas na realização do exame, estejam visíveis na radiografia. Para isto, avalia-se todo o processo de revelação da processadora automática ou tanque de revelação, químicos para revelação e fixação da imagem, secadora e condições da câmara escura. (NAVARRO, Vinícius Teixeira. 2009).

Por fim, na quarta e última etapa (Sala de Laudos) é verificado o ambiente utilizado por médicos para visualizar a imagem radiográfica e obter a maior quantidade de informação diagnóstica possível. Para tanto é necessário utilizar negatoscópios com luminância adequada e com limitação do campo luminoso ao tamanho do filme, numa sala de iluminação apropriada para impedir a reflexão da luz ambiente no filme. (NAVARRO, Vinícius Teixeira. 2009).

Desta etapa final a autoridade solicita os relatórios de levantamento radiométrico ambiental e os testes de constância realizados para análise. De posse das informações e análises realizadas a autoridade sanitária verifica se o local está apto ou não a funcionar com segurança. Se não estiver serão passadas as orientações para resolver as não conformidades e um prazo para a solução dos problemas encontrados. Dependendo da gravidade o serviço é suspenso até que seja resolvida a não conformidade.

#### **4.3 GADE – Grupo de Análise de Doses Elevadas**

Desde 1985 o IRD/CNEN vem operando um serviço oficialmente constituído, executado por um grupo multidisciplinar, denominado GADE - Grupo de Análise de Doses Elevadas (DA SILVA, 2010). Este grupo, composto por especialistas em proteção radiológica e dosimetria, tem como objetivo primordial adotar ações coordenadas para a investigação de casos de superexposição ocupacional que ocorram no Brasil.

A hierarquia do GADE é composta pelo Coordenador e especialistas em:

- Dosimetria citogenética;
- Segurança radiológica industrial: radiografia industrial, perfilagem de poços de petróleo, medidores nucleares e irradiadores de grande porte;
- Segurança radiológica na área médica: raios X para diagnóstico e odontológico, medicina nuclear e radioterapia;
- Monitoração individual e dosimetria externa.

Os principais objetivos do GADE são: investigar todos os casos de superexposição ocupacional acima de 100 mSv registrados pelos serviços de monitoração individual certificados no País; estimar a verdadeira dose recebida pelo trabalhador e fornecer tal informação para a equipe médica; descobrir as causas do evento e recomendar medidas à instalação envolvida para prevenir casos adicionais; modificar ou ratificar a dose registrada no banco nacional de registro de doses individuais do IRD/CNEN; fornecer subsídios para as ações administrativas junto aos

órgãos competentes federal e estadual; gerar informações científicas relativas aos casos analisados de doses elevadas; e manter um arquivo com todos os casos de superexposição ocupacional a radiações ionizantes ocorridos no País.

Sempre que um trabalhador recebe no monitor individual de dose, em período mensal, Dose Individual, Hx igual ou superior a 4 mSv, os serviços nacionais de dosimetria individual externa são obrigados a preparar um relatório de comunicação de dose alta. O responsável técnico da instituição deverá receber esta comunicação no dia da análise, bem como o Banco Nacional de Registro de Doses, localizado no IRD/CNEN, que arquiva das doses recebidas por todos os trabalhadores brasileiros monitorados individualmente. Se a dose equivalente for igual ou superior a 100 mSv, o relatório de dose alta deve ser enviado ao IRD/CNEN no prazo de 24 horas. Tal comunicação deflagra as atividades do GADE. O valor de 100 mSv é o dobro do valor de dose para um único ano, de acordo com o limite de dose anual adotado pela autoridade regulatória brasileira – a CNEN.

Os laboratórios prestadores de serviço de monitoração individual, em caso de dose elevada, deverão fazer a comunicação para o órgão competente, de acordo com a faixa de dose avaliada. As faixas de dose encontram-se na tabela 2.

**Tabela 2. Faixa de dose - procedimentos**

<b>Faixa de dose avaliada no monitor individual (mSv)</b>	<b>Procedimentos de comunicação de doses altas</b>
4,00 a 15,00	* Informar à instalação no período normal (30 dias); * Informar ao IRD no período normal (30 dias).
15,00 a 100,00	* Informar à instalação dentro de 24 horas; * Informar ao IRD no período normal (30 dias).
Maior que 100,00	* Informar à instalação dentro de 24 horas; * Informar ao IRD dentro de 24 horas; * IRD informa ao GADE dentro de 24 horas.

O indivíduo sob suspeita de ter recebido uma superexposição ocupacional será então submetido a uma investigação pelo GADE.

A metodologia de investigação adotada pelo GADE teve modificações nesse ano de 2012 e atualmente as seguintes recomendações são enviadas para cada VISA Estadual: (DA SILVA, 2012):

- Para comunicação de dose maior ou igual a 20 mSv, de dosímetro tipo Avental, deveria ser solicitada à instituição a realização das seguintes ações:

1. Investigação do evento; Revisão da segurança e procedimentos técnicos; Relatório completo elaborado pelo Responsável da Proteção Radiológica e Relatório sobre o evento escrito pelo trabalhador investigado.
  2. Comprovação do uso de avental plumbífero.
    - 2.1. Caso seja comprovado o uso, dividir a dose por 10 para obter a dose efetiva real.
    - 2.2. Caso não seja comprovado o uso e não havendo uma justificativa real para estas doses elevadas (por ex.: somente irradiação do dosímetro), solicitar a realização dos seguintes exames clínicos e laboratoriais: Teste de gravidez (trabalhadora) e Exame oftalmológico (presença de catarata).
  3. Retificação da dose elevada: Caso seja concluído que a dose investigada **NÃO** foi recebida pelo trabalhador, a VISA deve enviar um Ofício para a Coordenação do GADE solicitando a retificação da dose do histórico do trabalhador. O GADE, então, enviará para a Gerência de Dose/IRD e para o Laboratório de Dosimetria a referida determinação.
- Para comunicação de dose maior ou igual a 20 mSv, de dosímetro tipo Tórax, deveria ser solicitada à instituição a realização das mesmas ações anteriormente citadas, com exceção do item 2 – comprovação do uso de avental.
  - Para comunicação de dose maior ou igual a 100 mSv, de dosímetro tipo Avental, deveria ser, solicitada à instituição a realização das seguintes ações:
    1. Investigação do evento; Revisão da segurança e procedimentos técnicos; Relatório completo elaborado pelo Responsável da Proteção Radiológica e Relatório sobre o evento escrito pelo trabalhador investigado.
    2. **Comprovação** do uso de avental plumbífero.
      - 2.1. Caso **seja comprovado** o uso, dividir a dose por 10 para obter a dose efetiva real.
      - 2.2. Caso **não** seja comprovado o uso e **não** havendo uma justificativa real para estas doses elevadas (por ex.: somente irradiação do dosímetro), solicitar a realização dos seguintes exames clínicos e laboratoriais: Avaliação clínica; Dosimetria citogenética (no IRD/CNEN); Hemograma completo com contagem de plaquetas; Dosagem de eletrólitos e enzimas; Espermograma (trabalhador – dose maior ou igual a 300 mSv); Teste de gravidez (trabalhadora); Exame oftalmológico (presença de catarata) e outros, a critério médico.
    3. Emissão do Atestado de Saúde Ocupacional – ASO.

4. Para a realização da Dosimetria Citogenética, no IRD/CNEN, favor seguir a Instrução enviada e solicitar que a Instituição entre em contato com a Coordenação do GADE/IRD.
5. Retificação da dose elevada: Caso seja concluído que a dose investigada **NÃO** foi recebida pelo trabalhador, a VISA deve enviar um Ofício para a Coordenação do GADE solicitando a retificação da dose do histórico do trabalhador. O GADE, então, enviará para a Gerência de Dose/IRD e para o Laboratório de Dosimetria a referida determinação.
  - Para comunicação de dose maior ou igual a 100 mSv, de dosímetro tipo Tórax, deveria ser, solicitada à instituição a realização das mesmas ações anteriormente citadas, com exceção do item 2 – comprovação do uso de avental.

Em 2011 houve registro de 372 casos de doses elevadas a nível nacional, sendo 91 maior ou igual a 100 mSv. Os três estados que apresentaram maior número de casos foram: São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

Como os valores de doses registradas, para os usuários quando do uso do dosímetro sobre o avental, para a estimativa da dose efetiva são divididos por 10, que desses 91 casos, 4 ficam menores que 100 mSv. São eles: RJ – 917.5 mSv, MG – 454.8 mSv, SP – 106.7 mSv e 217.3 mSv.

Dos três estados que mais apresentaram dose, o RJ foi o estado que mais apresentou caso de dose acima de 100 mSv, registrando 21 casos, seguido por SP, com 19 casos e MG com 6 casos. As VISA's desses três estados, entre outros, têm um setor específico para proteção radiológica, isso agiliza a resposta nos casos de investigação.

Podemos observar também que 4 estados que não tiveram nenhum registro de dose elevada: AC, AP, RN e SE.

Os registros de dose do país podem ser visualizadas nos gráficos 1 e 2.

Gráfico 1: Doses elevadas de radiação 2011

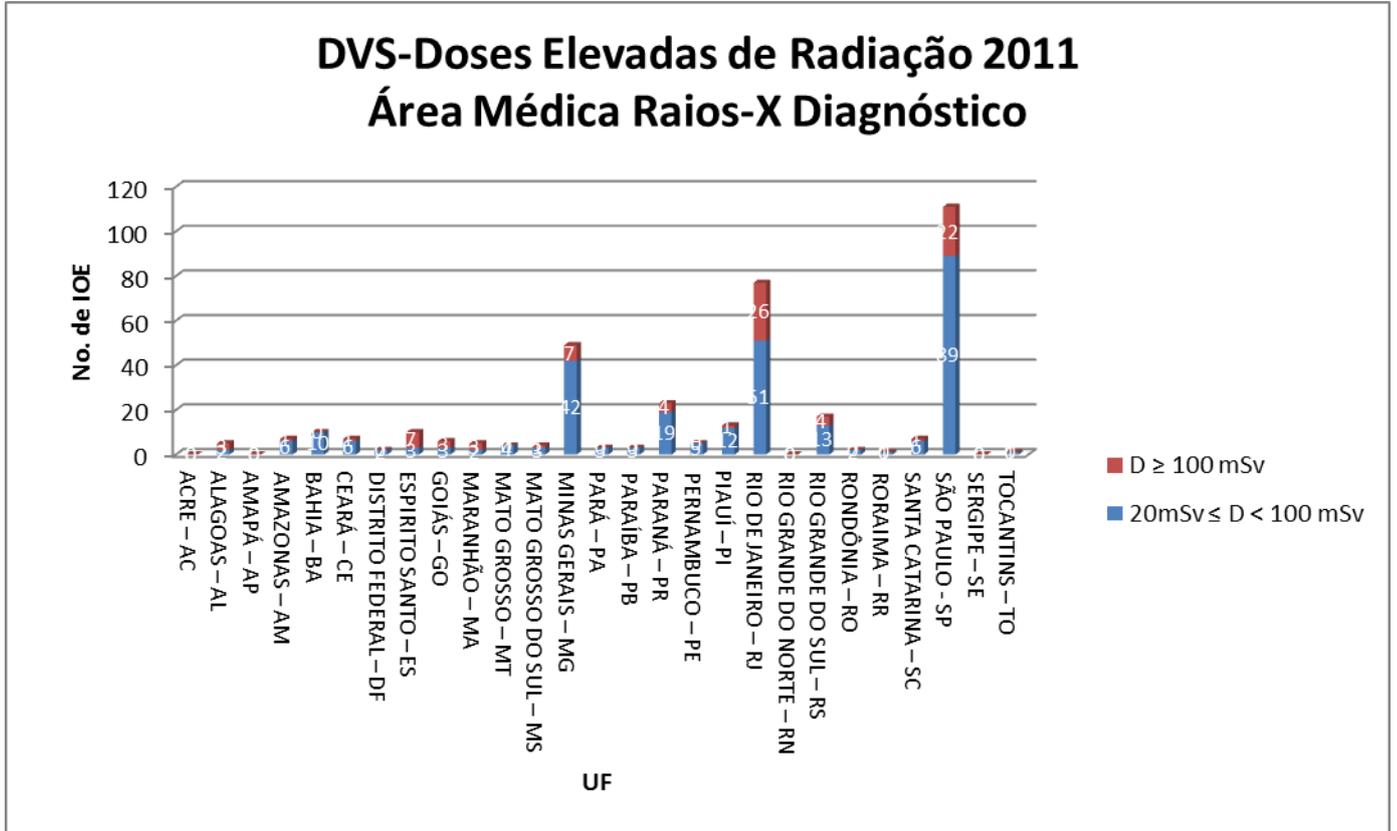
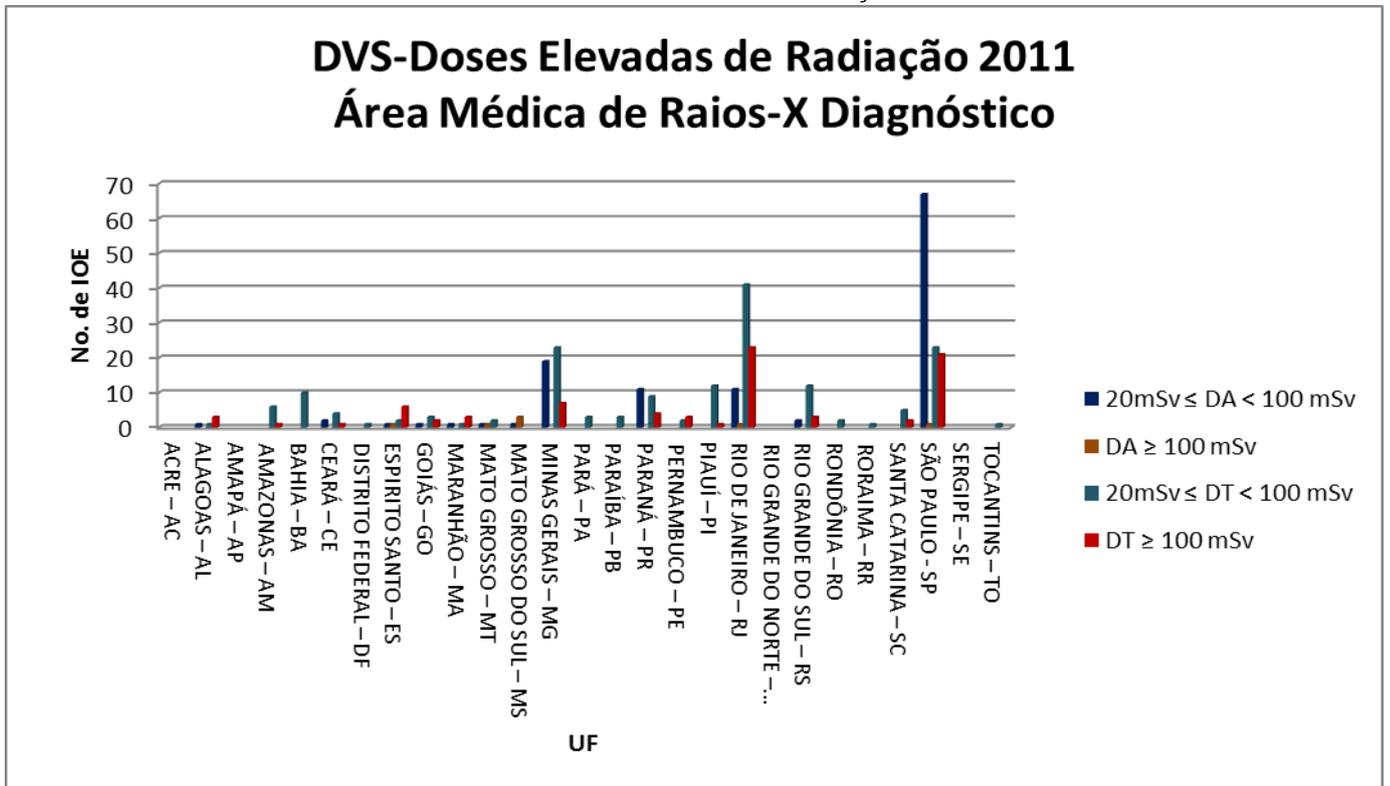


Gráfico 2: Doses elevadas de radiação 2011



#### **4.4 Investigação de Doses Elevadas**

A investigação nos casos de doses elevadas é importante para se descobrir as suas verdadeiras causas, estimar as doses dos trabalhadores envolvidos e principalmente emitir recomendações para corrigir os procedimentos de trabalho e conseqüentemente, tornar a probabilidade de ocorrência de acidentes cada vez menor. Visando este resultado recomenda-se que se desenvolvam as seguintes etapas:

- Entrevista com os trabalhadores envolvidos;
- Análise dos equipamentos;
- Exames médicos necessários;
- Ações Administrativas.

##### **4.4.1 Entrevista com os Trabalhadores Envolvidos**

A entrevista é uma etapa muito importante para a investigação e tem como objetivo apurar as possíveis causas e possíveis falhas nas medidas de radioproteção e colher informações detalhadas para a reconstituição dos fatos. A entrevista deverá ser realizada pelo responsável técnico da instituição e/ou responsável pelo setor de radioproteção do órgão regulador.

Sabendo que a tendência natural é que os chefes tentem esconder as deficiências existentes, deve-se começar os depoimentos com as vítimas e testemunhas e só depois com o chefe. Isso evita que elas sejam influenciadas pelo relato "oficial" e se sintam na obrigação de confirmá-lo.

Os depoimentos devem ser realizados isoladamente para evitar constrangimento entre os envolvidos, porém devem ser gravados para que as informações colhidas não se percam.

A entrevista deve ser direcionada, com o intuito de obter o maior número de informações relevantes para a apuração das causas do acidente, desenvolvendo o seguinte questionamento:

- Nome?
- Data de Nascimento?
- Tempo de Profissão?
- Qual o nome da Empresa?
- Em que setor atua?
- Possui histórico de doses elevadas?
- Quantos dias trabalha por semana?
- Quantas horas possui sua jornada de trabalho?
- Utiliza dosímetro durante toda a jornada de trabalho?
- Qual tipo de dosímetro utiliza?
- Guarda em local adequado, seguro e próximo ao dosímetro padrão?

- Trabalha em outra empresa?
- Utiliza um dosímetro para cada local de trabalho?
- O dosímetro fica preso no jaleco?
- A onde guarda o jaleco?
- Sempre retira o dosímetro no final do dia?
- Sempre que próximo ao feixe de radiação utiliza o avental de chumbo?
- Tem o hábito de segurar os pacientes para realizar os exames?
- Com que frequência visita os outros setores de radiodiagnóstico durante sua jornada de trabalho, expondo-se à radiação?
- Houve algum evento anormal com os equipamentos de raio-X no período em questão?
- Houve algum desentendimento profissional na Instituição, que pudesse levar a uma irradiação proposital do dosímetro por outra pessoa?
- Conhece e segue as diretrizes da portaria 453?
- Tem o hábito de comunicar qualquer irregularidade ou anormalidade para os superiores?
- Nos casos de exames em leito, qual o procedimento de proteção radiológica que você utiliza, visando a sua segurança e a do paciente?
- Incluir pergunta sobre controle de qualidade dos equipamentos (A instituição possui o relatório de controle de qualidade dos equipamentos que utilizam radiação ionizante).

O Questionário investigativo encontra-se no Anexo A.

#### **4.4.2 Análise dos equipamentos**

A análise dos equipamentos é indispensável para analisar a segurança do ambiente em que estão instalados e para avaliar se a aquisição da imagem está sendo feita com qualidade, permitindo uma correta interpretação com doses de radiação minimizadas e otimizadas. Segundo recomendações da ANVISA segue abaixo os testes imprescindíveis para avaliação dos padrões de desempenho dos equipamentos radiológicos e condições de adequação das instalações:

##### **4.4.2.1 Teste de Radiação de Fuga**

O teste de radiação de fuga tem por objetivo verificar se os níveis da radiação de fuga detectados a 1 m do ponto focal estão de acordo com as restrições estabelecidas na legislação.

Para a realização deste teste são necessários os seguintes instrumentos:

a) Monitor de Radiação e Câmara de Ionização (Figura 11) de 100 cm<sup>2</sup> de área sensível, sem dimensões lineares superiores a 10 cm, com tempo de resposta adequada e devidamente calibrado. Detectores com outras dimensões podem ser aceitá-

veis, desde que o procedimento a ser adotado preveja as correções geométricas pertinentes.

- b) Placas de chumbo (uma camada deci-redutora)
- c) Trena e tripé para segurar a câmara de ionização

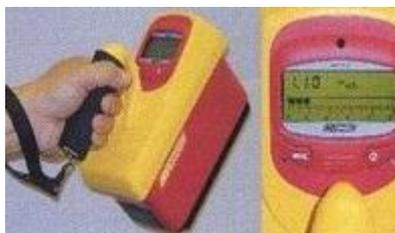


Figura 11. Câmara de Ionização

#### 4.4.2.2 Levantamento Radiométrico

O levantamento radiométrico tem por objetivo verificar os níveis de Equivalente de Dose Ambiente a que estão expostos os trabalhadores e o público, em geral, estão de acordo com as restrições estabelecidas na legislação.

Para realização deste teste são necessários os seguintes instrumentos:

- a) Monitor de área com tempo de resposta adequado e devidamente calibrado
- b) Objeto espalhador (água ou acrílico) com dimensões aproximadas às do abdômen de um adulto típico. (massa de 60 a 75 kg e altura de 1,60 a 1,75m)
- c) Trena

#### 4.4.2.3 Sistema de Colimação e Alinhamento do Eixo Central do Feixe de Raios X

O sistema de colimação e alinhamento do eixo central do feixe de raio X, tem por objetivo avaliar os desvios entre o campo luminoso e o campo de radiação, bem como avaliar o alinhamento do eixo central do feixe de raios X.

Para realização deste teste são necessários os seguintes instrumentos:

- a) Dispositivo para teste de tamanho de campo (figura 12)
- b) Dispositivo para teste de alinhamento do feixe (figura 13)
- c) Chassi com écran
- d) Filme radiográfico
- e) Trena



Figura 12. Dispositivo para teste de tamanho de campo



Figura 13. Dispositivo para teste de alinhamento do feixe

#### 4.4.2.4 Exatidão e Reprodutibilidade da Tensão do Tubo

O teste de exatidão e reprodutibilidade da tensão do tubo de raios X, como o próprio nome já diz, tem por objetivo avaliar a exatidão e a reprodutibilidade da tensão do tubo de raios X.

Para a realização deste teste são necessários os seguintes instrumentos:

- a) Medidor de kVp de leitura direta e calibrado, com incerteza máxima de 2% (Figura 14)
- b) Trena

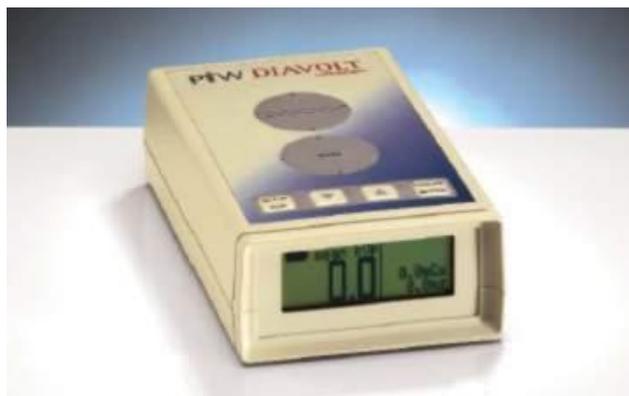


Figura 14. Diavolt

#### 4.4.2.5 Reprodutibilidade e Linearidade da Taxa de Kerma no Ar

O teste de reprodutibilidade e linearidade da taxa de kerma no ar, tem por objetivo avaliar a linearidade e a constância da taxa de kerma no ar.

Para realização deste teste são necessários os seguintes instrumentos:

- a) Câmara de ionização e eletrômetro
- b) Trena

#### 4.4.2.6 Rendimento do Tubo de Raios-x

O teste de rendimento do tubo de raios-x tem por objetivo avaliar o rendimento do tubo de raios X.

Para realização deste teste são necessários os seguintes instrumentos:

- a) Câmara de ionização e eletrômetro
- b) Trena

#### 4.4.2.7 Exatidão e Reprodutibilidade do Tempo de Exposição

O teste de exatidão e reprodutibilidade do tempo de exposição tem por objetivo avaliar a exatidão e a reprodutibilidade do tempo de exposição.

Para realização deste teste é necessário o seguinte instrumento:

- a) Instrumento para medir tempo de exposição, com incerteza máxima de 2%

#### 4.4.2.8 Reprodutibilidade do Controle Automático de Exposição

O teste de reprodutibilidade do controle automático de exposição tem por objetivo avaliar a constância do sistema de controle automático de exposição.

Para realização deste teste são necessários os seguintes instrumentos:

- a) Câmara de ionização e eletrômetro
- b) Fantoma de cobre com espessura de 1,5 mm ou de outro material, com atenuação equivalente (p.ex.: 15 cm de *PMMA* ou 3 cm de alumínio)
- c) Trena

#### 4.4.2.9 Camada Semi-redutora

O teste de camada semi-redutora tem por objetivo avaliar a qualidade do feixe de raios X.

Para realização deste teste são necessários os seguintes instrumentos:

- a) Câmara de ionização e eletrômetro
- b) Suporte para câmara de ionização
- c) Lâminas de alumínio com pureza de 99,0% e espessuras variáveis de 0,1 mm a 2,0 mm

### 4.4.3 Exames Médicos Necessários

Sabendo os efeitos determinísticos que a radiação ionizante podem causar, os exames médicos devem fazer parte da rotina de investigação de dose elevada, sendo direcionado de acordo com a dose informada pelo serviço de dosimetria. Esses exames são importantes porque é através deles que ficamos sabendo se o IOE sofreu algum dano causado pela exposição à radiação. No caso da confirmação do dano, ajudará ao médico, especialista, na decisão a ser tomada para o procedimento de tratamento. Os exames solicitados, no caso de investigação de

dose até 1Gy, são:

- Análise clínica
- Exame hematológico
- Teste de Gravidez
- Espermograma
- Exame oftalmológico
- Exame citogenético

#### 4.4.3.1 Análise Clínica

A avaliação *in loco* de práticas clínicas é considerada como a mais fidedigna (Newble, 2000). Para indivíduos saudáveis, a probabilidade de efeito será zero para doses de até algumas centenas ou, às vezes, milhares de mSv, dependendo do tecido e do efeito em análise.

O limiar de dose para determinado efeito apresenta uma variação e limitação, entre os indivíduos.

Se pessoas com diferente susceptibilidade são expostas à radiação, efeitos determinísticos de gravidade suficiente para serem detectados, serão alcançados após doses menores nos indivíduos mais sensíveis.

Algumas características sintomáticas são: astenia, vômito, náusea, disenteria, radiodermite e queda de pêlos nos braços. Tudo isso é analisado pelo médico.

#### 4.4.3.2 Exame Hematológico

O exame permite quantificar a dose através da visualização de uma Leucopenia ou da plaquetopenia, que corresponde a uma dose estimada entre 2 – 4 Gy, o que permite ratificar ou retificar a exposição investigada. No caso de mulher em idade reprodutiva, deve ser feito o BHCG junto no hemograma, pois se ela estiver grávida, a preocupação e o cuidado aumentam, já que o limiar para grávida é de 1 mSv até o final da gestação.

#### 4.4.3.3 Espermograma

O espermograma é um tipo de exame que analisa as condições físicas e composição do sêmem humano. É explorado para avaliar a função produtora do testículo e problemas de esterilidade masculina.

A radiação ionizante pode causar esterilidade, e dependendo da dose pode ser temporária ou definitiva. Se o homem receber uma dose igual a 0,3 Gy (localizada), corresponde a uma esterilidade temporária e no caso de dose igual a 5 Gy (localizada), corresponde a uma esterilidade definitiva.

#### 4.4.3.4 Exame Oftalmológico

A Portaria 453 estabelece um limiar de dose para o cristalino de 150 mSv / ano. Porém, foi constatado, segundo estudos recentes, casos de catarata radioinduzido com dose de 50 mSv. Com base nesses dados, a ICRP 103 baixou o limiar de dose do cristalino para 20 mSv / ano visando a proteção radiológica do IOE.

Por esse motivo, em casos de dose maior ou igual 20 mSv, a avaliação oftalmológica fará parte da investigação para saber se a catarata foi adquirida pelo IOE e qual o estágio patológico.

#### 4.4.3.5 Exame de Citogenética

A dosimetria biológica desempenha um papel importante na investigação de doses maior ou igual 100 mSv, pois serve para confirmar os registros obtidos pela dosimetria física. A confirmação é feita através da existência de aberrações cromossômicas, que são alterações induzidas pela radiação. As aberrações são geralmente quebras nos cromossomos ou podem ter sido causadas por recombinação incorretas de quebras, por exemplo, dicêntricos e anéis centricos.

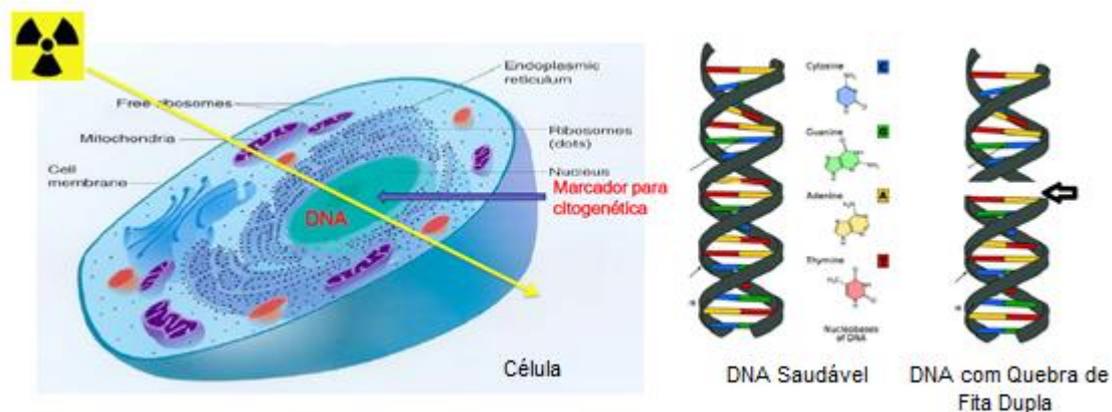


Figura 15. Efeito da Radiação na Célula

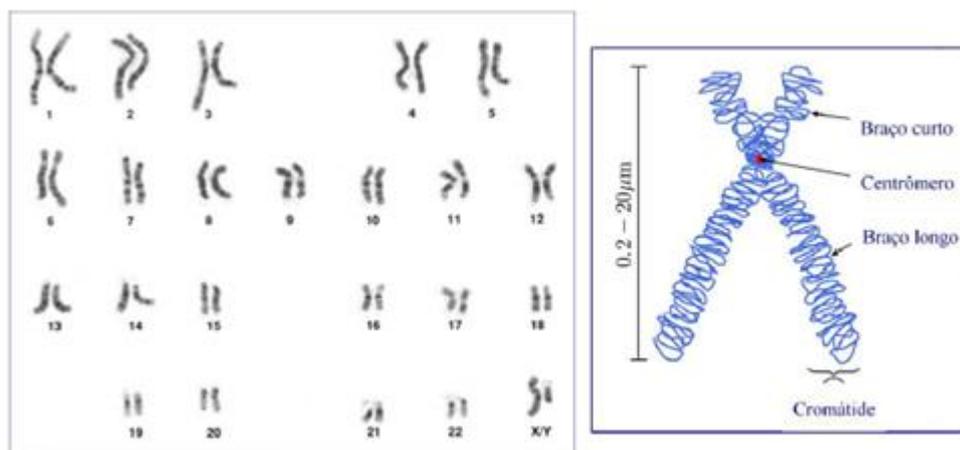
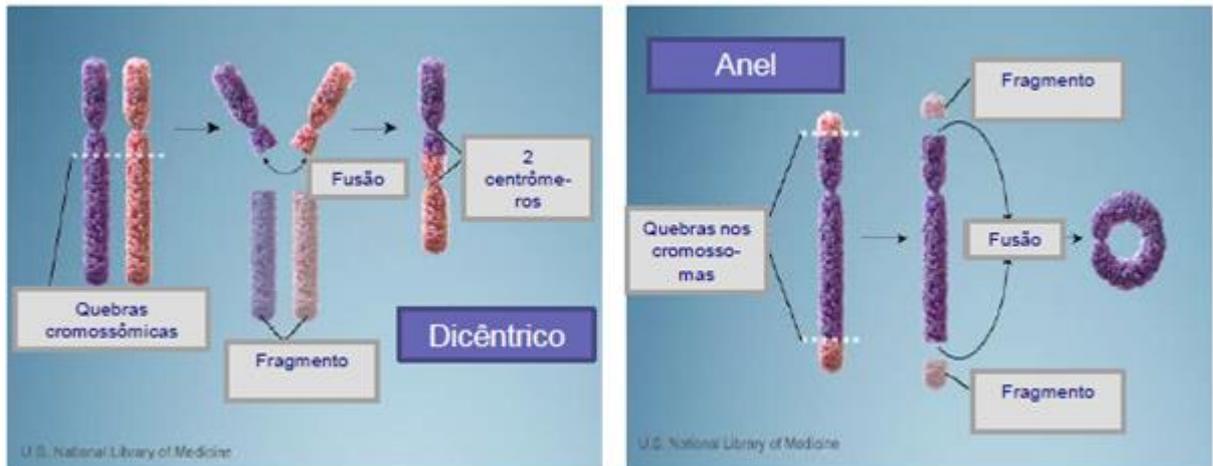


Figura 16. Cromossoma



**Figura 17. Formação de Dicêntricos e Anéis Centricos**

O estudo das alterações cromossômicas têm sido extensivamente utilizado para detecção de exposição excessiva às radiações ionizantes e estimativas de dose absorvida em células linfocitárias.

A escolha dos linfócitos como modelo biológico do nível de exposição individual, baseia-se no fato de que são células de fácil obtenção (punção venosa), sensíveis à radiação, que retêm as lesões produzidas pela ação das radiações ionizantes em seu DNA, por estarem predominantemente na fase quiescente do ciclo celular (G<sub>0</sub>).



**Figura 18. Preparação para Cultura de Linfócitos**

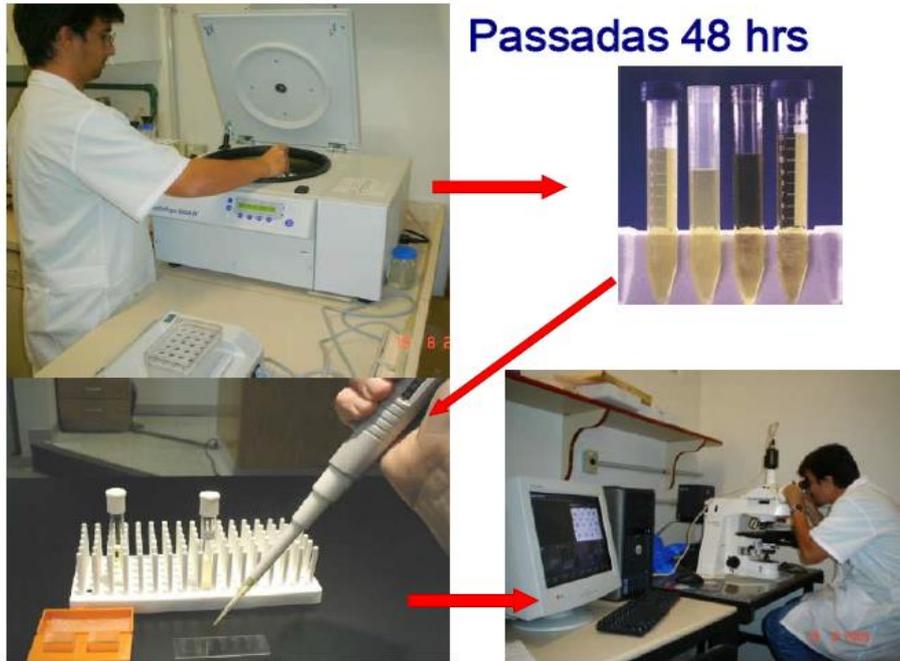


Figura 19. Preparação para Cultura dos Linfócitos

A análise é obtida através do cultivo *in vitro* das células linfocitárias contidas na amostra de sangue (5 a 10 ml) misturado com 10% de soro fetal bovino e cochinila. Essa cultura é mantida em estufa a 37°C por 48h, tempo necessário para que os linfócitos entrem em divisão celular. O material é colocado em lâminas que são analisadas em microscópio com aumento de 1000 x. Para a análise, é necessário que tenha 46 centrômeros e cromossomas com bom espalhamento. Assim segue a procura de dicêntricos, anéis centricos e seus respectivos fragmentos.

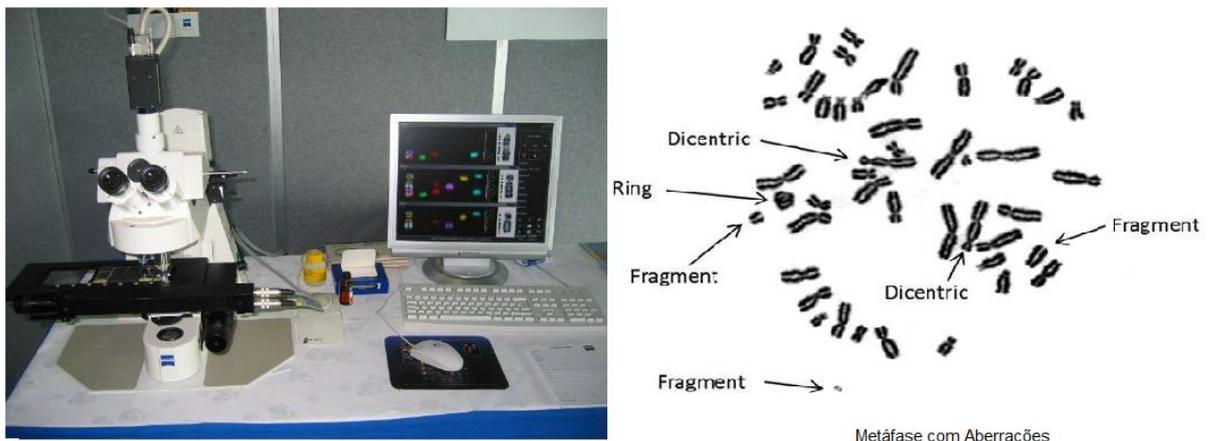


Figura 20. Análise de Aberrações Cromossômicas

#### Interpretação dos Dados (Limite de detecção - 100 mGy)

- 1 dicêntrico em 500 células é considerado como uma dose absorvida de 100 mGy;
- Nenhum dicêntrico em 500 células contabilizadas é interpretado como dose de 0. Na realidade, pode corresponder a uma dose inferior a 100 mGy.

No caso das baixas doses, as aberrações cromossômicas são mais qualitativas e é necessário para interpretação dos resultados que os valores deste ensaio se somem à informação obtida a partir de outros tipos de investigação.

#### **4.4.4 Ações administrativas**

As ações administrativas na análise de dose elevadas é de grande importância para se descobrir as suas verdadeiras causas, estimar a dose do trabalhador e principalmente emitir recomendações para corrigir os procedimentos de trabalho e conseqüentemente, tornar a probabilidade de ocorrência cada vez menor. Ao iniciar uma investigação de doses elevadas é necessário adotar algumas ações administrativas, tais como:

##### **4.4.4.1 Investigação do Evento**

Uma cuidadosa investigação oferece elementos valiosos para avaliação das suas conseqüências e das providências administrativas, técnicas, médicas e educativas dentro da empresa que devem ser tomadas.

Um dos pontos fundamentais antes de iniciar uma investigação de doses elevadas, é que o individuo ocupacionalmente exposto (IOE) envolvido, tenha consciência de que não se procura um culpado ou um responsável, mas as causas que contribuíram direta ou indiretamente para esta ocorrência.

A investigação da dose pode ser conduzida baseada nos seguintes aspectos:

- Histórico da empresa e do IOE envolvido: o histórico feito antes de se realizar a visita na empresa, visa obter uma ideia geral da situação da empresa e dos trabalhadores antes do relato de dose elevada. Deve-se visar os seguintes aspectos:

##### **A. Situação da Empresa Frente à Autoridade Competente**

A situação da empresa, referente aos aspectos técnicos e administrativos de radioproteção, deve ser obtido através dos relatórios de inspeções e auditorias realizadas ao longo dos anos, do plano geral de radioproteção, dos procedimentos específicos de radioproteção e dos relatórios de doses elevadas acontecidos anteriormente.

É importante ressaltar os seguintes itens:

- Irregularidades encontradas nos relatórios de inspeção;
- Recomendações emitidas nos relatórios;
- Número de IOEs;
- Inventário dos equipamentos radiológicos e seus históricos de manutenção;
- Inventário dos equipamentos de radioproteção e suas condições de uso;
- Sistema de controle dosimétrico e médico dos indivíduos ocupacionalmente

expostos (Controle de Saúde Ocupacional);

- Dose equivalente efetiva coletiva dos IOEs;
- Atividade específica dos IOEs no setor radiológico;

### **B. Situação do Técnico Envolvido com a Dose**

É importante verificar detalhadamente a situação do IOE envolvido no relato de dose elevada.

Devem ser ressaltados os seguintes itens:

- Histórico de dose anterior ao acidente;
- Empresas onde trabalhou com radiação e período;
- Envolvimento em outros casos de dose elevada;
- Treinamento e reciclagem em radioproteção;
- Cargo ou função na equipe de trabalho.

### **C. Situação do Responsável de Radioproteção / Responsável Técnico**

O responsável de radioproteção exerce uma função importante na empresa, como o de elo entre os trabalhadores e a direção da empresa, e entre esta e a autoridade licenciadora competente.

A investigação sobre o responsável deve constar, basicamente, dos seguintes itens:

- Atuação na implantação dos procedimentos de radioproteção;
- Participação em casos de altas doses acontecidos anteriormente;
- Atividades, dentro da empresa, além de responsável de radioproteção;
- Aperfeiçoamento em radioproteção.

Uma vez realizado o histórico da empresa e dos trabalhadores, deve-se iniciar a tomada de depoimento do IOE que obteve a alta dose.

- **Depoimentos do Pessoal Envolvido**

Os depoimentos têm como objetivos esclarecer e confirmar as informações previamente coletadas, montar a sequência exata que deu origem a alta dose, apurar as causas e possíveis falhas nas medidas de radioproteção e colher informações pormenorizadas para a sua reconstituição.

Como há a tendência natural dos chefes de esconder deficiências de suas seções, deve-se começar os depoimentos com as vítimas e testemunhas, e posteriormente, com os chefes, para que elas não se deixem influenciar pelo relato "oficial" e se sintam na obrigação de confirmá-lo.

Os depoimentos devem ser realizados isoladamente, para que não haja

constrangimento entre os envolvidos e dentro do possível, gravados para que as informações colhidas não se percam.

No depoimento é importante apurar a forma habitual que o IOE trabalha. Os fatores pessoais de insegurança ficam evidentes quando o IOE apresenta desconhecimento dos riscos que podem ocasionar uma alta dose, falta de treinamento, falta de aptidão ou interesse pelo trabalho, excesso de confiança, falta de qualificação para o trabalho.

Os depoimentos devem ser direcionados a se obter os principais dados sobre a exposição.

- Coleta de Dados sobre o excesso de exposição

É indispensável que o investigador trace o perfil da situação que ocasionou o excesso de exposição, levando ao registro de uma alta dose, quando então, dará por concluída a investigação.

Para isso é necessário colher informações e dados precisos sobre o excesso de exposição, através do histórico da empresa e dos IOEs e dos depoimentos do pessoal envolvido. Estes dados também são importantes para a formação de banco de dados sobre altas doses radiológicas.

- Afastamento temporário do IOE com a Radiação (*a critério da Autoridade Reguladora*).

O afastamento temporário do IOE como a radiação tem por objetivo permitir que neste tempo estime-se o quanto de dose o IOE ainda poderá receber e o quanto deverá aguardar para retomar suas atividades.

- Revisão de segurança e procedimentos técnicos

A prática da radioproteção, segurança e procedimentos técnicos devem ser revisadas. Saber se IOE tem conhecimento das técnicas de radioproteção e se habitualmente as utiliza e como faz. A utilização e a guarda do dosímetro deve ser feita de forma adequada, pra que possa se evitar a exposição inadequada e a utilização por terceiros.

Com relação aos procedimentos técnicos, cabem alguns questionamentos:

- Quais os procedimentos de trabalho para a realização de exames radiológicos?
- A empresa fornece EPI suficientes?

Deve-se focar nos possíveis erros que podem ter originado o registro da alta dose.

- Relatório completo elaborado pelo Responsável de Proteção Radiológica e/ou Responsável Técnico

O responsável de proteção radiológica e/ou Responsável Técnico deverá providenciar um relatório completo:

- Sobre o IOE: Dados pessoais, setor de atuação, cargo, turno, jornada de trabalho, tipo de dosímetro, período de registro dose, a dose registrada e o histórico de doses anteriores.

- Sobre a instalação/equipamento: Data da última inspeção da Autoridade Reguladora, descrição do setor onde ocorreu a alta dose, lista de equipamento(s), informações das características técnicas do(s) equipamento(s), data da última manutenção, testes realizados e demais informações que viabilizem o sucesso da investigação.

Diante de tais circunstâncias, atitudes preventivas devem ser tomadas, para evitar que situações similares ocorram.

- Relatório sobre o evento escrito pelo indivíduo investigado

O IOE deverá relatar em detalhes todo o seu cotidiano, descrevendo o local de trabalho, quais as funções que desempenha, como as desenvolve, as técnicas que utiliza, como utiliza os EPIs, se faz uso do dosímetro e onde o posiciona.

Para melhor detalhamento e agilidade recomenda-se a utilização do questionário investigativo. ANEXO A.

- Exame médico-ocupacional especial, com emissão do Atestado de Saúde Ocupacional - ASO

De acordo com a Portaria 453/3.46 (iii) - em caso de exposição acidental envolvendo altas doses, fornecer informações para investigação e suporte para acompanhamento médico e tratamento.

Torna-se imprescindível os seguintes exames:

1. Dosimetria citogenética.
2. Avaliação clínica.
3. Hemograma completo com contagem de plaquetas.
4. Dosagem de eletrólitos e enzimas.
5. Espermograma.
6. Teste de gravidez.
7. Exame oftalmológico.
8. Outros, a critério médico.

## 5. CONCLUSÃO

A investigação das doses ocupacionais dos profissionais do radiodiagnóstico foi realizada com base nos dados de monitoração individual, a partir de um banco de dados.

Conclui-se que profissionais das doses analisadas, não possuem orientação ou ignoram a utilização dos EPIs, a forma correta de utilização do dosímetro, bem como, desconsideram ou desconhecem os aspectos importantes de proteção radiológica.

Como base na análises dos resultados obtidos conclui-se que há necessidade contínua de treinamentos, quanto à adequação do uso dos dosímetros durante as práticas dos exames, o armazenamento adequado dos dosímetros, bem como a otimização dos procedimentos visando à proteção radiológica.

A partir da análise das doses individuais do banco de dados e pelo fato da maioria destas doses não terem sido investigadas pela Vigilância Sanitária responsável (VISA), fica implícito que estas doses não correspondem as doses reais adquiridas pelos IOEs.

Conclui-se que a utilização do exame citogenético proporcionará ao funcionário uma segurança na qualidade de vida, bem como, um amparo legal para a Instituição em caso de ações judiciais. Já que, o exame citogenético permite uma resposta de ratificação ou retificação de dano celular radioinduzido.

Conclui-se também que o questionário investigativo devido à objetividade das perguntas, conduz a conclusão da investigação de forma dinâmica e eficiente. Contribuindo para eficácia da equipe investigativa, bem como, para uma melhora na comunicação direta do GADE com a VISA's.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Que os profissionais da área de radiodiagnóstico sejam periodicamente submetidos aos treinamentos de reciclagem, visando minimizar as exposições à radiação, adotando procedimentos de controle de exposição que não requerem equipamentos sofisticados ou treinamento especialmente rigoroso, mas, sim, uma atitude conscienciosa, adotando uma cultura de segurança.

Recomenda-se a utilização do roteiro investigativo, pois o desenvolvimento sistemático de suas etapas permite o sucesso da investigação, de forma rápida e eficiente.

Devido aos avanços tecnológicos da área médica, recomenda-se que ocorra com certa periodicidade uma atualização dos exames médicos postulados. Permitindo adaptações evolutivas a este trabalho.

Recomenda-se que se faça um trabalho para detalhar a veracidade das doses investigadas, de forma, a saber, quais são reais e qual a área do radiodiagnóstico se tem mais dose ocupacional.

Recomenda-se que os dosímetros sejam guardados de forma individual em local fechado onde só o responsável por ele tenha acesso, pois dessa forma evita que terceiros façam uma irradiação proposital nele.

É interessante que se realize uma estatística das doses mensais maiores ou iguais a 4 mSv, com objetivo de dimensionar quantitativamente as doses em todo país, resultando num projeto de redução de dose.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, T.C. – Investigação das Doses Ocupacionais da Equipe Médica em Procedimentos Hemodinâmicos – Escola de Engenharia da UFMG – Belo Horizonte – 2005.
- ANVISA - Radiodiagnóstico médico: Desempenho de Equipamentos e Segurança - Ed. Anvisa – Brasília – 2005.
- BIASOLI JR, A. – Técnicas Radiográficas – Ed. Rubio – 2003.
- DA ROSA, L.A.R. et al – Percentage depth dose evaluation in heterogeneous media using thermoluminescent dosimetry – Journal of Applied Clinical Medical Physics, Vol. 11 Nº 1 – 2010.
- DA SILVA, F.C.A – Uma Metodologia de Análise de Acidentes Radiológicos em Gamagrafia Industrial – IME – RJ– 1990.
- DA SILVA, F.C.A - Activities of the Institute of Radiation Protection and Dosimetry/Brazil as Technical and Scientific Support Organization on Occupational Radiation Protection. International Conference on Challenges Faced by Technical and Scientific Support Organizations (TSO) in Enhancing Nuclear Safety and Security. Tokyo, Japan, 2010.
- DA SILVA, F.C.A – Comunicação Pessoal, 2012.
- ICRP – The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection – Publication 103 – Editor J. VALENTIN – 2007.
- PINTO, M.M.P.L. et al – Análise Citogenética na Investigação de Incidentes Radiológicos – NEWSLABS – Edição 105 – 2011.
- STUCK, M. – Danos Biológicos - Aulas Teóricas do Curso de Pós-Graduação em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas - IRD/AIEA – RJ – 2012.

ANEXO A  
Roteiro de Entrevista

ANEXO A – Roteiro de Entrevista

Nome: \_\_\_\_\_

Data de Nascimento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

Tempo de Profissão: \_\_\_\_\_

Empresa: \_\_\_\_\_

Setor de atuação: \_\_\_\_\_

Trabalha quantos dias da semana? \_\_\_\_\_

Jornada diária: \_\_\_\_\_ horas.

Possui histórico de doses elevadas? S  N  Quanto? \_\_\_\_\_ mSv.

Utiliza dosímetro durante toda sua jornada de trabalho? S  N

Qual tipo de dosímetro utiliza?

Guarda em local adequado, seguro e próximo ao dosímetro padrão? S  N

Trabalha em outra empresa? S  N

Utiliza um dosímetro para cada local de trabalho? S  N

O dosímetro fica preso no jaleco? S  N

Aonde guarda o jaleco? \_\_\_\_\_

Sempre retira o dosímetro no final do dia? Sempre  Raramente  Nunca

Sempre que próximo ao feixe de radiação utiliza o avental de chumbo? S  N

Como que frequência o utiliza? Raramente  Sempre  Nunca

Quando utilizar o avental, como posiciona o dosímetro?:

Sobre o avental  Sob o Avental

Tem o hábito de segurar os pacientes para realizar os exames?

Raramente  Diariamente  Nunca

Com que frequência visita os outros setores de radiodiagnóstico durante sua jornada de trabalho, expondo-se a radiação? Raramente  Diariamente  Nunca

Houve algum evento anormal com os equipamentos de raio-X no período em questão? S  N

Houve algum desentendimento profissional na Instituição, que pudesse levar a uma irradiação proposital do dosímetro por outra pessoa? S  N

Tem o hábito de comunicar qualquer irregularidade ou anormalidade para os superiores? S  N

Conhece e segue as diretrizes da portaria 453? S  N

Nos casos de exames em leito, qual o procedimento de proteção radiológica que você utiliza, visando a sua segurança e a do paciente?

---

---

ANEXO B  
Manual de Testes

## ANEXO B – Manual de Testes

### 1.1 Testes Para Análise de Equipamentos

#### 1.1.1 Procedimento para Avaliação de Radiação de Fuga

##### **Metodologia**

- Fechar o colimador do equipamento de raios X e cobri-lo com as placas de chumbo.
- Escolher uma técnica de operação que forneça o maior  $kVp$  e a maior corrente anódica possíveis para operação do tubo em regime contínuo (fluoroscopia). Caso isso não seja possível, selecionar o maior valor de  $mAs$  possível para a tensão selecionada, cuidando para que o tempo de exposição seja adequado ao tempo de resposta da câmara de ionização operando em modo taxa.
- Posicionar o detector a 1 m do ponto da cúpula de raios X que será avaliado.
- Repetir para vários pontos em torno da cúpula (direita, esquerda, anterior e posterior ao tubo)
- Fazer a leitura em modo taxa.

##### **Cálculo**

- No caso de ser utilizada uma técnica com a maior corrente do tubo em regime contínuo, a leitura da câmara de ionização devidamente corrigida para taxa de kerma no ar pode ser diretamente comparada com os valores apresentados no Quadro 1.1.

**Quadro 1.1. Níveis de Radiação de Fuga (Portaria MS/SVS n.453/98)**

<i>Tipo de equipamento</i>	<i>Limite</i>
Radiologia médica	1,0 mGy/h a 1 m do ponto focal
Radiologia odontológica	0,25 mGy/h a 1 m do ponto focal (intra-oral)
	1,0 mGy/h a 1 m do ponto focal (demais)

- Caso tenha sido utilizado um  $mA$  diferente, o cálculo para uma leitura em modo taxa deve ser:

$$R = \frac{L \cdot I_{m\acute{a}x}}{I}$$

Onde:

$R$  = taxa de kerma corrigida para a corrente máxima de funcionamento contínuo.

$L$  = taxa de kerma na corrente selecionada.

$I_{máx}$  = corrente máxima de funcionamento contínuo.

$I$  = corrente selecionada.

Observação:  $I_{máx}$  pode ser obtida nos documentos acompanhantes do tubo. Quando essa informação não estiver disponível, pode-se utilizar:

$$I_{\text{carga máxima}} = \begin{cases} 5 \text{ mA} \Rightarrow \text{se o equipamento for até 100 kVp} \\ 4 \text{ mA} \Rightarrow \text{se o equipamento for até 125 kVp} \\ 3,3 \text{ mA} \Rightarrow \text{se o equipamento for até 150 kVp} \end{cases}$$

### Interpretação dos Resultados

- Comparar os valores obtidos com os níveis de *radiação de fuga* estabelecidos na legislação (Quadro 1.1).
- Registrar a conformidade com os níveis de *radiação de fuga* em cada ponto avaliado.

#### 1.1.2 Procedimentos para Equipamentos de RX Convencional

##### 1.1.2.1 Levantamento Radiométrico

### Metodologia

Para esse teste, devemos desenhar a sala de raios X (croqui), identificando as áreas adjacentes e anotando suas dimensões ou definindo escala apropriada.

- Representar e identificar no croqui: tubo de raios X, painel de comando, biom-bos, portas, janelas, mesa de exame e *bucky* vertical.
- Selecionar os pontos de interesse para medições. Registrar os pontos selecionados.

### **Parâmetros de operação**

- Selecionar a maior tensão do tubo ( $kVp$ ) adotada nos exames de rotina e registrar o valor selecionado.
- Selecionar o tempo de exposição ( $t$ ) e a corrente anódica ( $I$ ) adequados ao tempo de resposta do monitor escolhido, evitando sempre atingir a carga máxima do equipamento.
- Registrar os parâmetros técnicos selecionados.
- Selecionar o maior tamanho de campo permitido.
- Selecionar o modo de detecção a ser utilizado.

### **Barreiras primárias**

- Direcionar o feixe de raios X para a barreira primária a ser avaliada e colocar o objeto espalhador na posição que seria ocupada pelo paciente.

*Obs.: utilizar distância foco-filme representativa dos exames com esse posicionamento.*

- Posicionar o monitor no primeiro ponto de medida, atrás da barreira primária.
- Realizar uma exposição e registrar a leitura do monitor.
- Repetir os itens anteriores para o(s) outro(s) ponto(s) de interesse.
- Repetir os itens anteriores para as outras barreiras primárias.

### **Barreiras secundárias - radiação espalhada e de fuga**

- Colocar o objeto espalhador na posição mais frequentemente ocupada pelo paciente.
- Posicionar o tubo de raios X sobre o objeto espalhador, com a distância foco-filme mais utilizada na rotina e selecionar o maior campo de radiação permitido.
- Posicionar o monitor no primeiro ponto de medição, atrás da barreira secundária.
- Realizar uma exposição e registrar a leitura do monitor.
- Repetir os 2 últimos itens anteriores para os demais pontos de interesse.
- Repetir os 3 últimos itens anteriores para as demais barreiras secundárias.

*Obs.: Se julgar necessário, repetir todos os itens acima, selecionando outros possíveis posicionamentos de pacientes, para uma ou mais barreiras secundárias.*

### Cálculo

- Definir os *fatores de uso* ( $U$ ) para cada uma das barreiras primárias, de acordo com a fração da carga de trabalho em que o feixe primário é dirigido a essa barreira.

*Obs.: o Quadro 2.2 apresenta valores de ( $U$ ) que poderão ser adotados na ausência de dados mais realistas.*

- Definir os *fatores de ocupação* ( $T$ ) a partir de estimativa, da fração de permanência do indivíduo que fica maior tempo na área em questão, ao longo do ano.

**Quadro 2.2. Fatores de Uso ( $U$ )**

<i>Barreira</i>	<i>U</i>
pisso	0,5
parede 1	0,25
parede 2	0,25

*Obs.: o Quadro 2.3 apresenta valores de ( $T$ ) que poderão ser adotados na ausência de dados mais realistas.*

**Quadro 2.3. Fatores de Ocupação ( $T$ )**

<i>Ocupação</i>	<i>Local</i>	<i>T</i>
integral	consultório, recepção	1
parcial	sala de espera, vestiário, circulação interna	1/4
eventual	circulação externa, banheiros, escadas	1/16
rara	jardins cercados, casa de máquinas	1/32

- Determinar a *carga de trabalho* máxima semanal ( $W$ ), através de entrevista com o técnico, a partir do número aproximado de pacientes por dia (ou por semana) e dos parâmetros operacionais mais utilizados;

*Obs.: o Quadro 2.4 apresenta valores de  $W$  que poderão ser adotados na ausência de dados mais realistas.*

**Quadro 2.4. Exemplos de Carga de Trabalho Semanal Máxima (W)**

<i>Equipamento</i>	<i>No de pac/dia</i>	<i>W (mA•min/pac)</i>	<i>W (mA•min/sem)</i>		
			<i>100 kVp</i>	<i>125 kVp</i>	<i>150 kVp</i>
Radiografia Geral	24	2,67	320	160	80
Radiografia de Tórax	60	0,53	160	80	–

- Corrigir as leituras fornecidas pelo monitor levando em conta o tempo de resposta, fator de calibração para o feixe atenuado e condições ambientais de temperatura e pressão.
- Converter os valores obtidos para unidades de *dose externa (mSv)* ou de *taxa de dose externa (mSv/h)*, usando o fator multiplicativo correspondente à unidade de medida do monitor, de acordo com Quadro 2.1.

### **Interpretação dos Resultados**

- Comparar os valores de dose externa obtidos com os níveis de restrição de dose estabelecidos na Legislação (Quadro 2.5).

**Quadro 2.5 Níveis de Restrição de Dose (Portaria MS/SVS n.º 453/98)**

<i>Localização</i>	<i>Restrição de Dose Semanal</i>	<i>Restrição de Dose Anual</i>
Área controlada	0,10 mSv/sem	5,0 mSv/ano
Área livre	0,01 mSv/sem	0,5 mSv/ano

- Registrar a conformidade com os níveis de *restrição de dose* em cada ponto avaliado.

### 1.1.2.2 Sistema de Colimação e Alinhamento do Eixo Central do Feixe de Radiação

#### ***Metodologia***

Para esse teste, deve-se verificar se a cúpula do equipamento de raios X encontra-se nivelada em relação à mesa ou outro suporte adequado. Depois, seguem os seguintes procedimentos.

- Posicionar o ponto focal a 1m da mesa ou suporte.
- Posicionar o chassi carregado sobre a mesa ou suporte.
- Posicionar o dispositivo para teste de tamanho de campo sobre o chassi.
- Abrir o colimador de forma a ajustar o campo luminoso ao campo do dispositivo de teste de tamanho de campo.
- Posicionar o cilindro para teste de alinhamento sobre o centro do dispositivo para teste de tamanho de campo.
- Fazer uma exposição usando aproximadamente 40 kVp e 3 mAs.
- Abrir novamente o colimador de forma que o campo luminoso seja maior que o anterior.
- Repetir a exposição com os mesmos parâmetros.
- Revelar o filme.

#### ***Análise da Imagem***

##### 1. Alinhamento do eixo central

Verificar a localização da imagem da esfera do topo do cilindro.

- Se a imagem estiver dentro do primeiro círculo, a inclinação é  $< 1,5^\circ$ .
- Se a imagem estiver entre o primeiro e o segundo círculo, a inclinação é  $< 3^\circ$ .

##### 2. Coincidência do campo luminoso com o campo de radiação

Medir a maior distância entre as bordas do campo luminoso e do campo de radiação.

#### ***Interpretação dos Resultados***

O ângulo de inclinação em relação ao eixo central do feixe deve ser  $< 3^\circ$ .

A diferença entre as bordas do campo de radiação e as bordas do campo luminoso não deve exceder 2% da distância entre o ponto focal e a mesa.

### 1.1.2.3 Exatidão e Reprodutibilidade da Tensão do Tubo

#### **Metodologia**

- Posicionar o medidor de kVp sobre a mesa ou sobre o suporte, alinhado com o tubo de raios X.
- Ajustar a distância foco-medidor recomendada pelo fabricante.
- Abrir o campo de luz, de forma que cubra toda a área sensível do medidor.
- Escolher quatro valores de *kVp* e três valores de *mA* mais utilizados clinicamente.
- Fazer uma série de quatro exposições para cada combinação de *kVp* com *mA*.
- Anotar as medidas de *kVp* obtidas em cada série de medições.

#### **Cálculo**

- Exatidão: calcular, para cada série de medidas, a média das leituras de tensão obtidas.

Determinar, para cada valor de tensão, o desvio (*d*) entre os valores nominais e os valores médios, utilizando a relação abaixo:

$$d(\%) = 100 \cdot \frac{kVp_{nom} - kVp_{médio}}{kVp_{nom}}$$

onde:

*kVp<sub>nom</sub>* = valor nominal selecionado no equipamento.

*kVp<sub>médio</sub>* = média das medidas realizadas, para cada valor de tensão.

- *Reprodutibilidade*: calcular, para cada série de medidas, o valor máximo (*kVp<sub>máx</sub>*) e o valor mínimo (*kVp<sub>mín</sub>*) entre as leituras de tensão obtidas.

Determinar, para cada série de medidas, a reprodutibilidade *R*(%), utilizando a relação abaixo.

$$R(\%) = 100 \cdot \frac{kVp_{m\acute{a}x} - kVp_{m\acute{i}n}}{(kVp_{m\acute{a}x} + kVp_{m\acute{i}n})/2}$$

### **Interpretação dos Resultados**

- Exatidão: deve estar dentro de  $\pm 10\%$ .
- Reprodutibilidade: devem ser  $\leq 10\%$ .

#### 7.2.1.1 Reprodutibilidade e Linearidade da Taxa de Kerma no Ar

### **Metodologia**

- Escolher três valores distintos de corrente e um valor fixo de tempo (ou três valores de *mAs*);
- Selecionar um valor de tensão dentro da faixa utilizada clinicamente.
- Anotar a distância foco-detector utilizada;
- Posicionar a câmara de ionização sobre a mesa ou outro suporte adequado, alinhada com o tubo;
- Ajustar o tamanho e o centro do campo de luz, de forma a cobrir o volume sensível da câmara;
- Fazer quatro exposições para o primeiro valor de *mA* ou *mAs* selecionado;
- Repetir o item anterior para os demais valores de *mA* ou *mAs* selecionados.

### **Cálculo**

#### 1. Reprodutibilidade

- Para cada valor de *mAs* selecionado, escolher o valor máximo (*L<sub>máx</sub>*), o valor mínimo (*L<sub>mín</sub>*);
- Calcular a reprodutibilidade *R*(%):

$$R(\%) = 100 \cdot \frac{L_{m\acute{a}x} - L_{m\acute{i}n}}{(L_{m\acute{a}x} + L_{m\acute{i}n})/2}$$

#### 2. Linearidade

- Calcular o valor médio das leituras obtidas ( $L_{\text{médio}}$ ), para cada valor de mAs;
- Dividir o valor médio calculado, pelo mAs correspondente ( $R = L_{\text{médio}}/\text{mAs}$ ).
- Selecionar o valor máximo ( $R1$ ) e o valor mínimo ( $R2$ ) e calcular a linearidade  $L(\%)$ .

$$R(\%) = 100 \cdot \frac{L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}}}{(L_{\text{máx}} + L_{\text{mín}})/2}$$

### **Interpretação dos Resultados**

- Reprodutibilidade:  $\leq 10\%$
- Linearidade:  $\leq 20\%$

#### 7.2.1.2 Rendimento do Tubo de RX

### **Metodologia**

- Selecionar um valor de tensão igual a 80 kVp (medido);
- Escolher um valor de  $mA$  e um valor de tempo ou um valor de  $mAs$ ;
- Ajustar a distância foco-detector para 1m;
- Posicionar a câmara de ionização sobre a mesa ou suporte adequado, alinhada com o tubo;
- Ajustar o tamanho e o centro do campo de luz, de forma a cobrir o volume sensível da câmara;
- Fazer quatro exposições.

### **Cálculo**

Calcular o rendimento ( $R$ ), utilizando a equação abaixo:

$$R \text{ (mGy/mA min)} = \frac{0,876 \cdot \bar{L} \cdot f_{(P,T)} \cdot 0,01 \cdot 60}{I \cdot t}$$

onde:  $\bar{L}$  = média das leituras em mR.

$f(P,T)$  = fator de correção para pressão e temperatura.

$T$  = tempo de exposição em segundos.

$I$  = corrente em mA

### **Interpretação dos Resultados**

Se os valores de tensão e de corrente e a camada semi-redutora estiverem corretos, o valor encontrado para o rendimento ® deve ser considerado como linha de base para os testes futuros.

#### 7.2.1.3 Exatidão e Reprodutibilidade do Tempo de Exposição

##### **Metodologia**

- Definir pelo menos seis valores de tempo, normalmente utilizados clinicamente;
- Posicionar o instrumento de medida sobre a mesa ou sobre suporte adequado;
- Selecionar um valor de tensão e um valor de *mA* normalmente utilizados;
- Fazer quatro exposições para cada valor de tempo definido.

##### **Cálculo**

###### 1. Reprodutibilidade

- Calcular, para cada série de medidas, o valor máximo (*t<sub>máx</sub>*) e o valor mínimo (*t<sub>mín</sub>*) entre as leituras de tensão obtidas.
- Determinar, para cada série de medidas, a reprodutibilidade *R*(%), utilizando a relação abaixo:

$$R(\%) = 100 \cdot \frac{t_{máx} - t_{mín}}{(t_{máx} + t_{mín}) / 2}$$

###### 2. Exatidão

- Calcular a média dos valores obtidos e para cada tempo selecionado, o desvio percentual *d*(%):

$$d(\%) = 100 \cdot \frac{t_{nom} - t_{medio}}{t_{nom}}$$

onde:  $t_{nom}$  = valor de tempo selecionado no equipamento.

### **Interpretação dos Resultados**

- Reprodutibilidade: deve ser  $\leq 10\%$ .
- Exatidão: deve estar dentro de  $\pm 10\%$ .

#### 7.2.1.4 Camada Semi-Redutora (CSR)

### **Metodologia**

- Selecionar um valor de tensão igual a 80 kVp (medido);
- Selecionar um valor de 20 a 40 mAs;
- Posicionar a câmara de ionização dentro do campo de radiação, centralizada em relação ao feixe de raios X, tal que a distância foco-detector seja de 60 cm;
- Realizar três exposições;
- Anotar os valores das leituras;
- Realizar novas exposições adicionando atenuadores de 0,5 mm ou de 1,0 mm a meia distância entre a câmara de ionização e o detector, até obter uma leitura de exposição inferior à metade do valor inicial;
- Anotar todos os valores das leituras;
- Retirar as lâminas de alumínio, realizar uma exposição e anotar o valor da leitura;

Obs.: se o valor for discrepante em relação aos obtidos no item (4), repetir o procedimento.

### **Cálculo**

- Calcular  $L_0$  como sendo a média dos valores medidos sem filtros.
- Calcular o valor da CSR utilizando a equação abaixo:

$$CSR = \frac{x_b \ln\left(2 \frac{L_a}{L_0}\right) - x_a \ln\left(2 \frac{L_b}{L_0}\right)}{\ln\left(\frac{L_a}{L_b}\right)}$$

onde:  $L_a$  = leitura de exposição imediatamente superior a  $L_o/2$ .

$L_b$  = leitura de exposição imediatamente inferior a  $L_o/2$ .

$x_a$  = espessura de Al correspondente à leitura  $L_a$ .

$x_b$  = espessura de Al correspondente à leitura  $L_b$ .

### ***Interpretação dos Resultados***

Comparar o valor da CSR obtida com os valores fornecidos no Quadro 2.6, para os diferentes valores de  $kVp$  e tipos de retificação do equipamento de raios X.

**Quadro 2.6. Valores Mínimos da CSR em Função da Fase e Tensão do Tubo**

<i>Tensão de Pico (kVp)</i>	<i>CSR (mm Al)</i>	
	<i>Monofásico</i>	<i>Trifásico</i>
70	2,1	2,3
80	2,3	2,6
90	2,5	3,0
100	2,7	3,2
110	3,0	3,5
120	3,2	3,9
130	3,5	4,1

Nota: Os valores de CSR do Quadro 2.6 já incluem uma tolerância de 0,1 mmAl.