

Instituto de Radioproteção e Dosimetria

Erica Fernanda de Souza

Avaliação Radiológica de Irradiadores de Gamagrafia  
Industrial

2012

Erica Fernanda de Souza

Avaliação Radiológica de Irradiadores de Gamagrafia  
Industrial

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

2012

Orientador: Dr. Francisco Cesar Augusto da Silva

Rio de Janeiro

Souza, Erica Fernanda.

Avaliação Radiológica dos Irradiadores de Gamagrafia Industrial. /Erica  
Fernanda de Souza. – Rio de Janeiro: IRD, 2012.  
39 f.

Orientador: Dr. Francisco Cesar Augusto da Silva

Monografia (Lato-Sensu) – Instituto de Radioproteção e Dosimetria.

Referências bibliográficas: f. 37 - 38

1. Radiografia Industrial. 2. Acidentes Radiológicos. 4. Proteção Radiológica.  
5. Irradiador de gamagrafia. 6. Radiologia Industrial. I. Instituto de  
Radioproteção e Dosimetria. II. Título.

Erica Fernanda de Souza

Avaliação Radiológica de Irradiadores de Gamagrafia  
Industrial

Rio de Janeiro,      de                                      de 2012.

---

Prof. Francisco Cesar Augusto da Silva

---

Prof.<sup>a</sup> Camila Moreira Araújo de Lima

---

Sr. João Carlos Videira José

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, sob orientação do Dr. Francisco Cesar Augusto da Silva.

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma com minha formação e com este trabalho. Meus agradecimentos a:*

- Deus, por ter iluminado meu caminho.*
- Meus pais, pela minha formação, pelo amor e dedicação.*
- Avó Amélia, pela paciência e apoio.*
- Meu noivo, Vinícius Furtado, pelo amor e compreensão.*
- Meu orientador, Dr. Francisco Cesar Augusto da Silva, pela dedicação a este trabalho.*
- Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD, por ter me aceito como aluna.*
- Professores do curso Latu Sensu DIENP/IRD, pelas aulas ministradas, em especial aos coordenadores Francisco Cesar e Paulo Roberto e aos professores Soares e Leocádio, por todo conhecimento adquirido em seus módulos.*
- Coordenação do curso de Lato Sensu – IRD, em especial ao coordenador Aucyone Augusto da Silva.*
- Todos os meus amigos verdadeiros que sempre me incentivaram a progredir.*
- Meus familiares, pelo carinho e pelo apoio.*
- Membros da banca, especialmente aos examinadores externos, Sr. João Carlos Videira José e Sra. Camila Moreira Araújo de Lima, por aceitarem o convite honrando-nos com sua presença.*

## SUMÁRIO

	Pág
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	8
LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS .....	9
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1 Objetivos.....	13
1.2 Justificativa.....	14
<b>2. METODOLOGIA.....</b>	<b>15</b>
2.1 A Radiografia Industrial.....	16
2.1.1 Equipe Técnica de um Serviço de Radiografia Industrial.....	16
2.2 Legislações Aplicada.....	16
2.2.1 ABNT-NBR 8670 e ISO 3999-1 (2000).....	17
2.2.2 Dispositivos de Segurança ISO 3999 (2000).....	19
2.3 Acidentes Radiológicos.....	19
2.4 Irradiadores de Gamagrafia .....	20
2.4.1 Tipos e classes dos irradiadores.....	22
2.4.2 Equipamentos Auxiliares.....	23
2.5 Inventário de Irradiadores.....	24
2.5.1 Gammamat, modelos <sup>75</sup> SE.....	25
2.5.2 Gammamat <sup>192</sup> Ir, modelos TI TI-F TI/FF.....	26
2.5.3 Tech-Ops, modelo OP-660.....	26
2.6 Detalhamento dos Dispositivos de Segurança dos Irradiadores.....	27
2.6.1 Dispositivos de segurança Gammamat TI, TI-F, TI-FF.....	28
2.6.2 Dispositivos de segurança TECH-OPS, Modelo OP-660.....	29

2.6.3	Aplicação do Método Comparativo.....	30
<b>3.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>34</b>
<b>4.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>36</b>
<b>5.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>37</b>

## LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

FIG: 1.1 Veículo com o equipamento intacto (O GLOBO, 2012).....	14
FIG. 2.1 Ensaio em Radiografia Industrial (ANDREUCCI, 2005).....	15
FIG. 2.2 Tipos de fontes mais usadas no Brasil (AQUINO, 2003).....	21
FIG: 2.3 Composição Básica de um irradiador portátil.....	21
FIG. 2.4 Irradiador Gammamat <sup>75</sup> Se.....	25
FIG. 2.5 Irradiador Gammamat TI .....	26
FIG. 2.6 Irradiador Tech-Ops.....	27
FIG: 1.1 Veículo com o equipamento intacto (O GLOBO, 2012).....	14
FIG. 2.1 Ensaio em Radiografia Industrial (ANDREUCCI, 2005).....	15
FIG. 2.2 Tipos de fontes mais usadas no Brasil (AQUINO, 2003).....	21
FIG: 2.3 Composição de um irradiador portátil (ANDREUCCI, 2005).....	21
FIG. 2.4 Irradiador Gammamat <sup>75</sup> Se.....	25
FIG. 2.5 Irradiador Gammamat TI .....	26
FIG. 2.6 Irradiador Tech-Ops.....	27
FIG. 2.7 Dispositivos de Segurança Gammamat <sup>75</sup> Se (AQUINO, 2003).....	28
FIG. 2.8 Dispositivos de Segurança Gammamat TI (AQUINO, 2003) .....	29
FIG. 2.9 Dispositivos de Segurança OP 660 (AQUINO, 2003).....	30
FIG. 2.10 Tampas dianteiras OP-660 e Gammamat <sup>75</sup> Se.....	31
FIG. 2.11 Chave do tipo “mergulhão” OP-660.....	31
FIG. 2.12 Dispositivos de Segurança OP-660 (ANDREUCCI, 2005).....	32
FIG. 2.13 Excêntrico do modelo Gammamat TI-F.....	33

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

### SÍMBOLOS

Co - cobalto

Ir - irídio

MeV - mega elétron-volt

Se - selênio

TBq - tera becquerel

$\gamma$  - gama

### SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear

END – Ensaio Não Destrutivo

IAEA - *International Atomic Energy Agency*

ICRP - *International Commission on Radiological Protection*

ISO - *International Organization for Standardization*

IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da CNEN

IRD - Instituto de Radioproteção e Dosimetria da CNEN

## RESUMO

No Brasil, em abril de 2012, os principais meios de comunicação noticiaram o roubo de um veículo que transportava um equipamento de gamagrafia industrial contendo fonte radioativa de selênio-75. O equipamento em questão, é um irradiador GAMMAMAT  $^{75}\text{Se}$  e sua fonte foi classificada como perigosa pela IAEA. Como consequência, a exposição acidental da fonte pode causar efeitos tissulares danosos graves e levar o indivíduo exposto a óbito. O equipamento foi encontrado intacto, dias depois, encerrando o risco de um acidente radiológico, mas não os questionamentos, acerca da segurança de tais equipamentos no país. Os dispositivos de segurança inerentes ao irradiador que poderiam evitar a violação do equipamento e a exposição acidental da fonte tiveram grande destaque. O Gammamat de  $^{75}\text{Se}$  é considerado moderno e seguro pelos novos padrões internacionais de qualidade, incorporando em seu projeto, dispositivos de segurança ainda não previstos nas normas brasileiras. Com objetivo de conhecer a importância e eficácia destes dispositivos e emitir recomendações práticas que evitem possíveis acidentes radiológicos, um estudo detalhado foi realizado, através do método de comparação dos dispositivos de segurança, tomando como padrão o irradiador Gammamat de  $^{75}\text{Se}$ .

## ABSTRACT

In Brazil, in April 2012, the major media has reported the theft of a vehicle carrying a gammagraphy industrial equipment containing radioactive source of selenium-75. The equipment in question is a radiator GAMMAMAT  $^{75}\text{Se}$  and its source was classified as hazardous by the IAEA. As a result, accidental exposure of the source can cause serious deleterious effects and tissue exposed individual lead to death. The equipment was found intact, days later, bearing the risk of a radiological accident, but not the questions, about the safety of such equipment in the country. The safety features inherent to the irradiator could avoid the violation of the equipment and accidental exposure source had great prominence. The Gammamat of  $^{75}\text{Se}$  is considered modern and safe by new international standards, incorporating in its design, safety devices have not provided for in Brazilian standards. Aiming to know the importance and effectiveness of these devices and issue practical recommendations to avoid possible radiological accidents, a detailed study was conducted by the method of comparison of safety devices, and defaults to the irradiator Gammamat of  $^{75}\text{Se}$ .

## 1. INTRODUÇÃO

A disseminação do uso da radiação ionizante como ferramenta em inspeções industriais proporcionou a sociedade moderna conforto e segurança, e também, riscos associados a sua prática. Segundo a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 1999), acidentes radiológicos na área de radiografia industrial ocorrem frequentemente, causando lesões graves, e até mesmo óbitos, em indivíduos ocupacionalmente expostos ou em indivíduos do público.

A gamagrafia, técnica de Radiografia Industrial mais difundida e que utiliza fontes radioativas com altas faixas de energia, é responsável por grande parte dos acidentes que ocorrem no mundo. DA SILVA (1990), cita que acidentes desta natureza tem seu cenário mais grave quando uma fonte é recolhida por indivíduos do público. Esta preocupação fez com que órgãos reguladores e outros órgãos responsáveis, tornassem o cumprimento dos requisitos de segurança item indispensável as práticas industriais. A aplicação de rigorosas normas de proteção radiológica avaliadas por inspeções periódicas, a exigência de capacitação profissional e o estabelecimento de padrões internacionais de segurança, são hoje, os principais meios empregados para redução dos índices de acidentes radiológicos.

Recentemente, no Brasil, um incidente envolvendo o roubo de um veículo que transportava um irradiador de gamagrafia contendo fonte radioativa de Selênio – 75 ( $^{75}\text{Se}$ ), alertou as equipes de emergência para a possibilidade de um acidente radiológico causado pela exposição acidental da fonte, considerada perigosa por especialistas. Incidentes como estes são comuns no país e muitos tiveram graves consequências. Em São Paulo, 1985, a violação de um equipamento de gamagrafia roubado, tipo Gammamt TI-FF, de  $^{192}\text{Ir}$ , com 0,88 TBq, causou efeitos tissulares danosos graves em vários indivíduos do público. O veículo roubado em abril de 2012, foi encontrado dias depois, com o equipamento de gamagrafia intacto, entretanto, não foi o suficiente para encerrar o problema.

Com grande repercussão junto à mídia, tal fato gerou discussões acerca da segurança dos equipamentos. A empresa de inspeções industriais envolvida estava devidamente licenciada e não havia nenhuma irregularidade no transporte do equipamento. Desde que foi comunicada, a equipe de

emergência da CNEN acompanhou as buscas que foram realizadas pela Polícia. Nada mais poderia ser feito, senão, esperar que os dispositivos de segurança que dificultam a exposição acidental da fonte tivessem eficácia, mediante a tentativa de violação do equipamento.

O irradiador GAMMAMAT  $^{75}\text{Se}$  é considerado um dos mais seguros em atividade no país, operando em consonância com o atual padrão ISO 3999. Ele incorpora em seu projeto a filosofia de defesa em profundidade e adiciona novos dispositivos de segurança, com o objetivo de impedir exposições acidentais. A maioria dos modelos de irradiadores utilizados no Brasil, não atende aos novos requisitos de segurança radiológica propostos pelas últimas edições dos padrões ISO 3999-1: 2001 (AQUINO, 2003). Isto, porque a CNEN, órgão que regulamenta as atividades radiológicas e nucleares no país, exige o cumprimento da Norma ABNT – NBR 8670, baseada na primeira edição da ISO 3999 (1977), recentemente cancelada pela própria ABNT.

Este trabalho visa uma avaliação radiológica dos dispositivos que tornam os equipamentos de gamagrafia modernos e mais seguros, tomando como padrão o irradiador GAMMAMAT  $^{75}\text{Se}$ , alvo do incidente de 2012. Um estudo detalhado foi realizado para se obter uma comparação entre este e os principais modelos de irradiadores em atividade no país, com objetivo de demonstrar eficácia e importância de seus dispositivos de segurança e emitir recomendações práticas para prevenção de acidentes radiológicos.

## **1.1 Objetivo**

Realizar uma avaliação radiológica nos diversos modelos de irradiadores de gamagrafia industrial especificando os dispositivos de segurança inerentes, o risco radiológico para o uso no campo, a categorização das fontes radioativas usadas, o inventário desses irradiadores no Brasil, os procedimentos de proteção radiológica e de segurança serem seguidos, de acordo com as normas em vigor e os acidentes ocorridos na utilização do mesmo.

## 1.2 Justificativa

Em abril de 2012 ocorreu, no Rio de Janeiro, um roubo de um veículo que transportava um irradiador de gamagrafia industrial, da marca Gammamat, com fonte radioativa de  $^{75}\text{Se}$ , com atividade de 0,52 TBq. Conforme foi constatado o referido irradiador teria dispositivos de segurança que dificultariam muito a sua abertura e conseqüentemente acesso à fonte radioativa. Sabemos que no Brasil a grande maioria dos irradiadores de gamagrafia industrial utilizam fontes radioativas de  $^{192}\text{Ir}$ , de diversas marcas, modelos e sistemas de segurança.

Um estudo detalhado deve ser realizado para se obter uma comparação dos dispositivos de segurança, tomando como padrão o irradiador Gammamat de  $^{75}\text{Se}$ , para demonstrar a eficácia desses dispositivos e emitir recomendações práticas para evitar possíveis acidentes radiológicos que podem causar prejuízos pessoais, econômicos e sociais para os envolvidos e para o meio ambiente. Abaixo, a FIG. 1.1 ilustra o momento em que o veículo roubado, foi encontrado com o equipamento intacto.



FIG: 1.1 Veículo com o equipamento intacto (O GLOBO, 2012).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 A Radiografia Industrial

Considerado como um processo especial pelos Sistemas da Qualidade NBR ISO-9001 e outros, a radiografia industrial faz parte de um conjunto de técnicas conhecida como Ensaios Não Destrutivos – END, que dentro da engenharia moderna é responsável por investigar a sanidade dos materiais sem, contudo destruí-los ou introduzir quaisquer alterações nas suas características (PETROBRAS/CNEN, 2000). A radiografia industrial utiliza radiações ionizantes para a realização dos ensaios e é uma das técnicas mais difundidas na indústria brasileira. Baseando-se nas variações da absorção, utiliza radiação ionizante proveniente de aparelhos geradores de raios-x ou fonte radioativa artificial emissora de raios gama, que irá atravessar o material a ser analisado, conforme FIG. 2.1, impressionando um filme radiográfico, uma emulsão contendo sais de prata, depositada sobre uma base flexível de celulose. Neste processo forma-se a imagem latente (CANDEIA, 2006). Assim, o objeto radiografado que apresentar variações de espessura, mistura de metais ou impurezas, tais como vazios, falta de fusão, escória, bolhas de ar, terá sua imagem projetada no filme radiográfico, que, após a revelação, se transformará em imagem visível. A visualização do(s) defeito(s) no objeto radiografado será observada pela presença dos inúmeros pontos ou conjuntos de pontos com diferentes graus de escurecimento, fornecendo diferentes densidades óticas (ANTÔNIO FILHO, 1999).

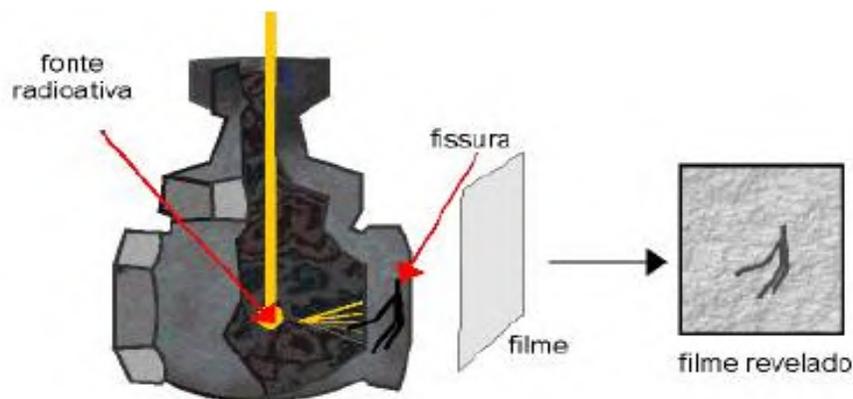


FIG. 2.1 Ensaio em Radiografia Industrial (ANDREUCCI, 2005).

Embora utilize radiação gama proveniente de radionuclídeos artificiais, a gamagrafia é denominada como uma das técnicas de Radiografia Industrial, sendo a mais difundida por dispensar o uso de energia elétrica e possuir modelos portáteis de fácil locomoção.

### **2.1.2 Equipe Técnica de um Serviço de Radiografia Industrial**

Segundo as normas CNEN – NE – 3.01 (Diretrizes Básicas de Radio proteção) e CNEN – NN – 6.04 (Funcionamento de Serviços de Radiografia Industrial), todas as empresas de radiografia industrial devem possuir dois supervisores de radioproteção, ou mais de dois, nos casos julgados necessários. A norma CNEN – NN – 6.04 também determina que uma equipe técnica possua dois operadores de radiografia industrial, um deles, pelo menos, certificado pela CNEN. Para serviços em instalações abertas, exige-se também, a presença de um responsável pela instalação aberta (RIA). Nos casos envolvendo o transporte de fonte radioativa em uso pelo Serviço, a CNEN exige que seja feita somente por trabalhadores, pelo menos 2 (dois) por veículo.

## **2.2 Regulamentação Aplicada**

A CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear é uma autarquia federal criada em 10 de outubro de 1956, vinculada ao Ministério de Ciência Tecnologia como órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e fiscalização, estabelecendo normas e regulamentos em radioproteção e licença. A norma que rege todas as demais, CNEN-NE- 3.01 Diretrizes Básicas de Radioproteção (2011), junto com a norma CNEN-NN-6.04 Funcionamento de Serviços de Radiografia Industrial (1989), específica para práticas industriais, regulamentam estas atividades e determinam padrões obrigatórios para emissão de licenciamento para operação das instalações radiativas no país.

Referente aos irradiadores de gamagrafia, sua comercialização também deve ser licenciada e para isso, a norma CNEN-NN-6.04, determina que sejam cumpridos os requisitos estabelecidos pela norma ABNT-NBR 8670

(1984), baseada na primeira edição ISO 3999 (1977). Atualmente, o padrão internacional ISO 3999 está em sua quarta edição, ainda não adaptada à legislação nacional e a Norma ABNT-NBR 8670 encontra-se cancelada sem substituição.

### **2.2.1 A ABNT-NBR 8670 e ISO 3999-1 (2000)**

A NBR 8670 foi cancelada em 10 de agosto de 2012 ([www.abntcatalogo.com.br](http://www.abntcatalogo.com.br)), durante a elaboração deste trabalho e conforme informações obtidas junto a ABNT, não haverá substituição para a norma. Como é exigida pela Norma CNEN-NN-6.04, será necessária uma revisão da mesma. Antes, para estar em conformidade com as normas nacionais, os irradiadores de gamagrafia industrial deveriam possuir os seguintes dispositivos de segurança:

- *O irradiador deve ter uma fechadura com chave, e a liberação do feixe de radiação só deve ser possível após a operação manual de destravamento;*
- *O travamento deve ser do tipo de segurança, isto é, podendo ser fechado sem a chave, ou com fechadura da qual não se possa retirar a chave enquanto a fonte não estiver em posição de segurança.*
- *O travamento deve reter a fonte selada na posição de segurança e, caso o mesmo seja danificado, não deve impedir que a fonte selada seja reconduzida a posição de segurança;*
- *O mecanismo de travamento não pode ser retirado do irradiador, a não ser por meio de ferramentas especiais.*

*Indicadores de disposição da fonte:*

- *Os equipamentos de radiografia gama devem indicar claramente se a fonte selada está em posição de segurança ou na posição de irradiação. Caso sejam usadas cores, o verde deve indicar apenas que a fonte se encontra na posição de segurança; o vermelho, que a fonte não está na posição de segurança, porém tais cores não devem constituir o único meio de indicação.*
- *O mecanismo de indicação da fonte deve ser tal que só indique a posição de segurança se a fonte estiver realmente naquela posição. Se ocorrer qualquer defeito ou falha no mecanismo de indicação, este deve indicar que a fonte não está na posição de segurança.*

As últimas edições do padrão ISO 3999, trouxeram novidades referentes aos dispositivos de segurança inerentes aos irradiadores de categoria II e classe P. A edição ISO 3999, relevante para elaboração deste trabalho, ocorreu em 2000 e acrescentou diversos itens de segurança, conforme listado abaixo:

- *O irradiador deve ser projetado de modo que somente seja possível liberar o mecanismo automático de segurança do porta-fonte por meio de uma operação deliberada no irradiador (através da trava adicional);*
- *Quando o porta-fonte for recolhido para dentro do irradiador, deverá ir automaticamente para a posição de segurança;*
- *Não deverá ser possível trancar o irradiador com o porta-fonte fora da posição de segurança;*
- *Não deverá ser possível expor a fonte sem que três conexões sejam realizadas:*
  - (a) o porta-fonte esteja conectado ao telecomando;*
  - (b) o telecomando esteja conectado ao irradiador;*

*(c) o tubo-guia esteja conectado ao irradiador.*

- *Os indicadores de posição de segurança devem ser claramente visíveis a uma distância de 5 metros, a partir da traseira (cabo de comando) do irradiador.*

### **2.3 Acidentes Radiológicos**

A radiografia industrial é responsável por aproximadamente metade de todos os acidentes relacionados a utilização da radiação ionizante no mundo, a maior parte é atribuída ao uso de irradiadores de gamagrafia industrial, conforme estatística de acidentes radiológicos registrada pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA, 1998).

A gamagrafia é a técnica mais difundida por possuir características muito especiais. Ela dispensa o uso de energia elétrica e permite operações em locais remotos, dificultando o acesso até mesmo para a fiscalização. Nestes locais, o emprego de mão-de-obra sem treinamento e a falta de manutenção dos equipamentos, são aliados perfeitos para o risco de acidentes radiológicos. Outra característica especial está na portabilidade destes equipamentos. Deslocados com frequência de uma instalação a outra, há possibilidade de incidentes e acidentes radiológicos envolvendo furto, roubo e extravio.

DA SILVA (1990), realizou uma análise 34 acidentes relevantes em gamagrafia industrial, ocorridos em 15 países (1960 a 1988), definindo que as principais causas deveram-se a falha de procedimento técnico em radioproteção; falhas mecânicas com desconexão da fonte; perda ou roubo da fonte radioativa. O Brasil apresentou três casos envolvendo trabalhadores ocupacionalmente expostos e 19 indivíduos do público. O mais grave, ocorreu em São Paulo, 1985, onde a violação de um irradiador roubado, tipo Gammamat TI-FF, deixou exposta uma fonte de  $^{192}\text{Ir}$  de 0,88 TBq, resultando em doses elevadas para 18 (dezoito) indivíduos do público. As consequências deste acidente para os envolvidos variaram de lesões severas, até a atrofia dos dedos das mãos.

## 2.4 Irradiadores de Gamagrafia

O equipamento portátil é composto basicamente por três componentes fundamentais: uma blindagem, uma fonte radioativa e um dispositivo para expor a fonte. A blindagem geralmente é constituída de uma liga metálica de urânio exaurido, mais eficiente que o chumbo, pesando em torno de 35Kg (ANDREUCCI, 2005). Está contida dentro de um recipiente externo de aço, que tem como finalidade sua proteção contra choques, inundações e incêndios.

A fonte radioativa é encapsulada e lacrada dentro de um pequeno envoltório metálico denominado "porta-fonte" ou "torpedo" devido a sua forma, ou fonte selada, simplesmente (ANDREUCCI, 2005). Os radionuclídeos mais utilizados na gamagrafia industrial têm meias-vidas relativamente curtas, da ordem de meses. Assim, as fontes radioativas precisam ser periodicamente substituídas, para que o equipamento mantenha a operacionalidade. Na indústria brasileira, as fontes mais empregadas são: o  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{75}\text{Se}$  e o  $^{60}\text{Co}$ , conforme ilustrado na FIG. 2.2 e apresentam atividade da ordem de 2,5 TBq (CANDEIAS, 2006). Abaixo, estão relacionados as principais fontes radioativas empregadas na indústria brasileira e algumas características relevantes:

(a) Cobalto-60 ( $^{60}\text{Co}$ ): Meia - Vida = 5,24 anos

- Energia da Radiação = 1,17 e 1,33 MeV
- Faixa de utilização mais efetiva = 60 a 200 mm de aço

(b) Iridio - 192 ( $^{192}\text{Ir}$ ): Meia - Vida = 74,4 dias

- Energia da Radiação = 0,137 a 0,65 MeV
- Faixa de utilização mais efetiva = 10 a 40 mm de aço

(c) Selênio-75 ( $^{75}\text{Se}$ ): Meia-vida = 125 dias

- Energia das Radiações = de 0,006 a 0,405 MeV
- Faixa de utilização mais efetiva = 4 a 30 mm de aço

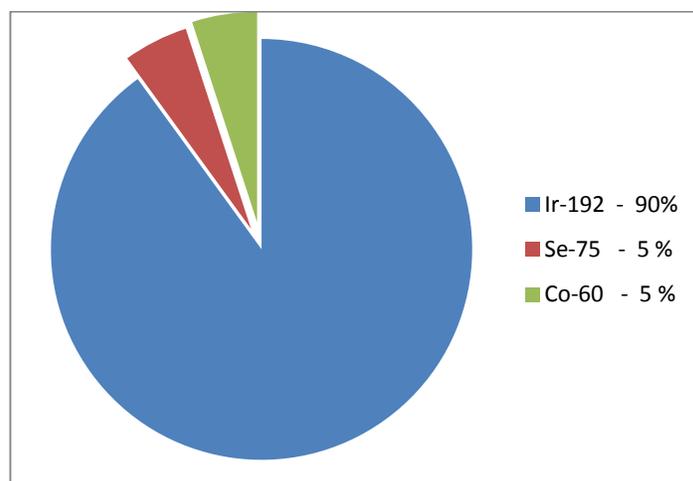


FIG. 2.2 Tipos de fontes mais usadas no Brasil (AQUINO, 2003).

Para a condução da fonte o equipamento é dotado de conduítes metálicos, flexíveis e resistente, denominado tubo guia e são conectados na parte frontal do irradiador e é ele que vai levar a fonte do centro do irradiador até a peça a ser inspecionada e outro cabo controlado pelo operador que é o cabo de comando. Abaixo, a FIG. 2.3 ilustra o esquema básico de um irradiador de gamagrafia portátil.

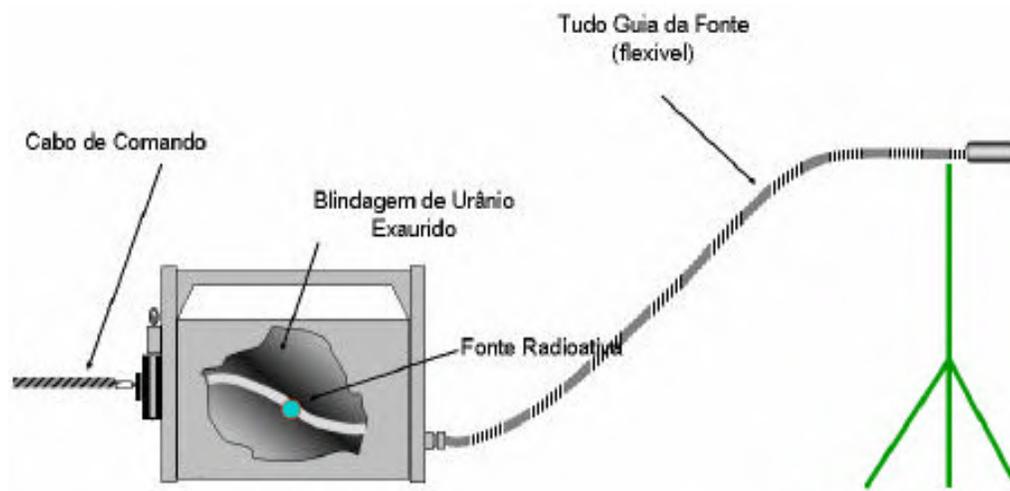


FIG: 2.3 Composição de um irradiador portátil (ANDREUCCI, 2005).

### 2.4.1 Tipos e Classes de Irradiadores de Gamagrafia

A norma ABNT – NBR 8670 classifica os irradiadores em categoria I e II, de acordo com a disposição da fonte para realização do ensaio. Posteriormente, a alteração do padrão ISO 3999 em 1997, incluiu a categoria X, ficando a classificação da seguinte forma:

a) Categoria I: Irradiador do qual a fonte radioativa selada não é removida para exposição. O feixe de radiação é liberado ao abrir-se um comutador, ou movendo-se a fonte dentro do irradiador por outros meios.

b) Categoria II: Irradiador do qual a fonte é deslocada para fora do mesmo através de um tubo guia, até o terminal de exposição, mecânica ou eletricamente, ou por outros meios. O deslocamento é comandado por um operador, situado a uma certa distância do terminal de exposição, que é um dispositivo que aloja a fonte de radiografia gama na posição de irradiação.

c) Categoria X: nova categoria incorporada pela ISO 3999 (1997) ainda não prevista em normas brasileiras. São os irradiadores do tipo “crawler” (que sobre um carrinho, movimentam-se dentro de tubulações para realização de radiografias panorâmicas) e equipamentos de gamagrafia submarina.

A norma ABNT NBR 8670, também classifica os irradiadores dependendo de sua mobilidade, podendo o equipamento pertencer a uma das três seguintes classes:

a) Classe P: Irradiador portátil destinado a ser carregado por uma só pessoa, com o máximo de 25 kg de massa. É muito utilizado pelas empresas prestadoras de serviços de gamagrafia industrial.

b) Classe M: Irradiador móvel, porém não portátil, que pode ser deslocado facilmente por meio apropriado para este fim.

c) Classe F: Irradiador fixo, cuja mobilidade fica restrita aos limites de uma área de trabalho (bunker).

Considerando o alto índice de acidentes envolvendo equipamentos de gamagrafia no mundo e incidente envolvendo uma fonte de  $^{75}\text{Se}$ , ocorrido recentemente no Brasil, a avaliação se limitará apenas a comparação dos dispositivos de segurança encontrados em modelos portáteis de categoria II, mais comuns as práticas industriais no país.

#### **2.4.2 Equipamentos Auxiliares**

A prática de gamagrafia requer equipamentos auxiliares para execução das atividades em condições rotineiras, que auxiliam nos ensaios radiográficos ou desempenham funções na proteção radiológica conforme relacionado abaixo:

- Terminal de Exposição (Ponteira dianteira): Utilizado para manter a fonte selada retida durante o tempo de exposição.
- Gabarito de Teste: Utilizado para verificar os desgastes dimensionais dos engates macho e fêmea.
- Detectores Geiger Muller: Utilizado principalmente, para certificar o retorno da fonte selada para a posição de blindagem do irradiador.
- BIP: Utilizado para monitorar a radiação emitida pela fonte selada durante a sua exposição.

O Plano de Proteção Radiológica (PPR), aplicado em uma instalação radiativa deve conter um plano de emergência, onde está o uso de previstos equipamentos que auxiliem na normalização do serviço:

- Pinças: usada pelo IOE para recolher a fonte selada fora de controle com no mínimo 1 metro de comprimento.

- Recipiente de emergência: com capacidade de receber a fonte selada resgatada e outras blindagens adicionais como calhas/placas de chumbo.
- Caneta Dosimétrica: Utilizada em situações de emergência para registrar as doses efetivas recebidas pelo IOE durante o resgate da fonte selada.
- Caixa de ferramentas: contendo chave de fenda; arco de serra; alicate, funil adaptado para o recipiente de emergência.

## 2.5 Inventário de Irradiadores

No Brasil, existem em torno de 738 instalações radiativas industriais, das quais 198 são Serviços de Radiografia Industrial. Estes serviços operam 309 irradiadores de gamagrafia industrial<sup>1</sup>. Os irradiadores utilizados são importados, a ampla maioria deles utiliza fontes de <sup>192</sup>Ir e estão em uso há mais de 20 anos no país (AQUINO, 2003).

Para realização desta pesquisa e avaliação radiológica através de método comparativo, foram utilizados os modelos: Gammamat Se-75, Gammamat TI e OP-660, pertencentes ao Laboratório de Indústria do IRD.

### 2.5.1 GAMMAMAT, modelo <sup>75</sup>Se

O modelo Gammamat <sup>75</sup>Se, ilustrado na FIG. 2.4, é um equipamento de origem alemã, fabricado pela Dr. Sauerwein GMBH. A qualidade da imagem gerada pelo <sup>75</sup>Se está muito próxima da obtida com Raio X e supera outros radionuclídeos em ensaios de materiais de menor espessura. Pesam em torno de 7 Kg, facilitando seu transporte e uso. Entretanto, seu maior benefício se dá na área de radioproteção, com a redução dos raios de balizamento nos ensaios radiográficos de até 50% quando comparado a uma mesma carga de trabalho estimada para o <sup>192</sup>Ir, uma vez que sua energia é menos da metade da energia do <sup>192</sup>Ir. Isto permite que sejam utilizadas várias equipes de radiografia no mesmo local de inspeção ou equipamentos, otimizando o tempo de serviço ([www.arctest.com.br/pt/gamagrafia/item/2-selenio-75](http://www.arctest.com.br/pt/gamagrafia/item/2-selenio-75)).

1- Comunicação pessoal de Josilto de Aquino, em 14 de setembro de 2012, recebida por correio eletrônico.

FIG. 2.4 Irradiador Gammamat  $^{75}\text{Se}$ .

### 2.5.2 GAMMAT, Modelos TI, TI-F, TI-FF

Também fabricados pela Dr. Sauerwein GmbH. Os modelos TI (FIG. 2.5), TI-F e TI-FF destinam-se a alojar fontes de irídio, diferenciando-se apenas pela quantidade de blindagem de urânio empobrecido. O canal interno deles é reto, composto de liga de titânio. Cerca de 15% do total dos modelos que incorporam fontes de  $^{192}\text{Ir}$  são utilizados pelas prestadoras de serviços de gamagrafia industrial no País (CANDEIAS, 2006).



FIG. 2.5 Irradiador Gammamat TI-F.

### 2.5.3 TECH-OPS, Modelo OP-660

Os irradiadores OP-660, ilustrado na FIG. 2.6, são de origem norte-americana e são comercializados pela AEA Technology/QSA Inc. Estes modelos são os mais utilizados pelas prestadoras de serviços de gamagrafia industrial. (AQUINO, 2003). O certificado do container B(U) Tipo B destes equipamentos, perdeu a validade em seu país de origem, sendo considerado seu uso não autorizado. Temporariamente, a Autoridade Regulatória – CNEN permitiu seu uso, desde que este fosse transportado dentro de uma caixa metálica (ANDREUCCI, 2010).



FIG. 2.6 Irradiador Tech-Ops.

## 2.6 Detalhamento dos Dispositivos de Segurança dos Irradiadores

Para segurança dos irradiadores, a norma internacional ISO 3999 exige que todo irradiador possua um dispositivo de segurança – travamento – para reter o porta-fonte na posição de segurança. A caixa de aço deve conter uma alça na parte superior para transporte. Deve conter também, tampas nos dois sistemas de acoplamento (dianteiro e traseiro), para prevenir a entrada de materiais estranhos e evitar danos durante a armazenagem e transportes de irradiadores (AQUINO, 2003). O modelo Gammamat  $^{75}\text{Se}$ , tomado como padrão em método comparativo, além dos itens citados, atende as exigências da penúltima edição da norma ISO 3999-1 (2000), adicionando cinco novos

dispositivos de segurança, conforme mostrado na FIG. 2.7, diminuindo praticamente a possibilidade de exposições acidentais. São eles:

- 1) Indicador de posição da fonte – a cor verde indica que a fonte está na posição de segurança, enquanto a cor vermelha indica que o equipamento está destravado.
- 2) Verificador de cabo de comando – dispositivo interligado com o comando, que indica a posição da fonte a partir do comando.
- 3) Mecanismo automático de segurança da fonte – o irradiador é travado automaticamente quando a fonte é recolhida. Tal dispositivo impede que a fonte seja exposta duas vezes seguidas sem que o irradiador seja destravado pelo operador.
- 4) Mecanismo de segurança – alavanca de travamento e destravamento manual.
- 5) Verificador do travamento do tubo-guia – trava de segurança que impede que a fonte seja exposta sem que o tubo-guia esteja devidamente conectado.

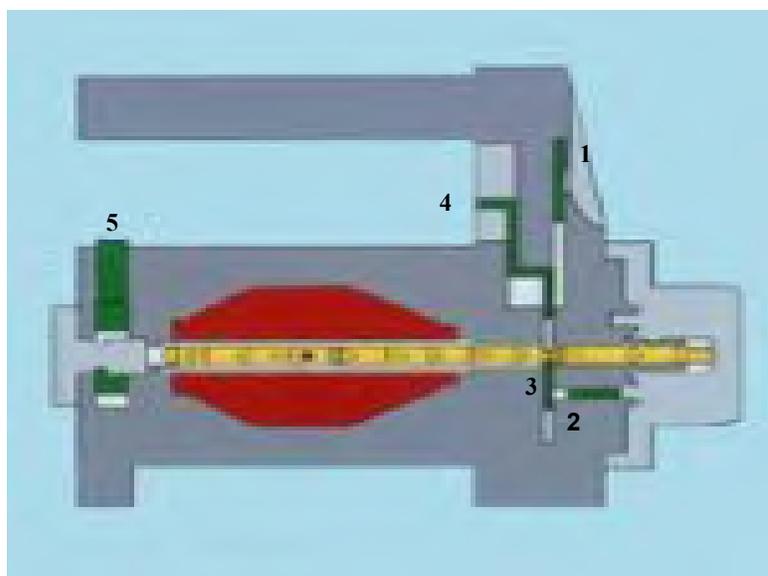


FIG.2.7 Dispositivos de Segurança Gammamat<sup>75</sup>Se (AQUINO, 2003).

### 2.6.1 Dispositivos de segurança Gammamat TI, TI-F, TI-FF

Os irradiadores Gammamat  $^{192}\text{Ir}$  usados no país estão em consonância com as Normas NBR 8670 e ISO 3999 (1977). Os modelos modernos possuem porta-fonte articulado e a fonte encontra-se centralizada no mesmo. Seu canal reto só permite a exposição pela dianteira e o comando de abertura do irradiador é acionado pela combinação em sequência de três funções:

- *Acoplamento do cabo de comando com o porta-fonte.*
- *Abertura da chave de segurança.*
- *Rotação manual do excêntrico para a posição de exposição.*

Na posição de armazenamento, a fonte encontra-se retida, mediante um mecanismo de segurança (excêntrico) e um dispositivo de trava de segurança na traseira, (fechadura). Os irradiadores em atividade possuem indicadores de posição de fonte que informam se a fonte está em posição de segurança, ou na posição de irradiação, usando sistema de cores para sinalização visual (verde/vermelho). Outros modelos como o Teletron  $^{192}\text{Ir}$ , utilizam dispositivos de segurança bem similares (AQUINO, 2003). A FIG. 2.8 ilustra com detalhes, os dispositivos de segurança presentes nos modelos Gammamat TI, TI-F e TI-FF.

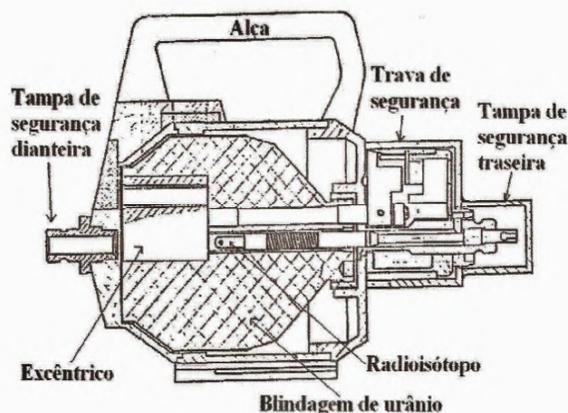


FIG. 2.8 Dispositivos de Segurança Gammamat TI (AQUINO, 2003).

## 2.6.2 Dispositivos de Segurança TECH-OPS, Modelo OP-660

Nestes modelos, a fonte encontra-se retida mediante um mecanismo de segurança na dianteira, e um dispositivo de trava de segurança na traseira, que é a fechadura do tipo mergulhão (AQUINO, 2003). O mecanismo de segurança do bloqueio do porta-fonte na dianteira é uma esfera “*stop boll*”, a qual se encaixa na fechadura, mantendo a fonte na posição de segurança, conforme mostra a FIG. 2.9. No controle remoto, existem três posições:

- O “*Lock*”, posição onde a fonte está travada,
- A posição “*connect*”, onde o controle remoto é conectado e,
- a “*operate*” de posição, onde a fonte é exibida.

A fonte só poderá ser exposta se o cabo do telecomando estiver conectado ao irradiador, e o mecanismo em posição de trabalho. Não há possibilidade de retirar o porta-fonte pela parte posterior do equipamento.

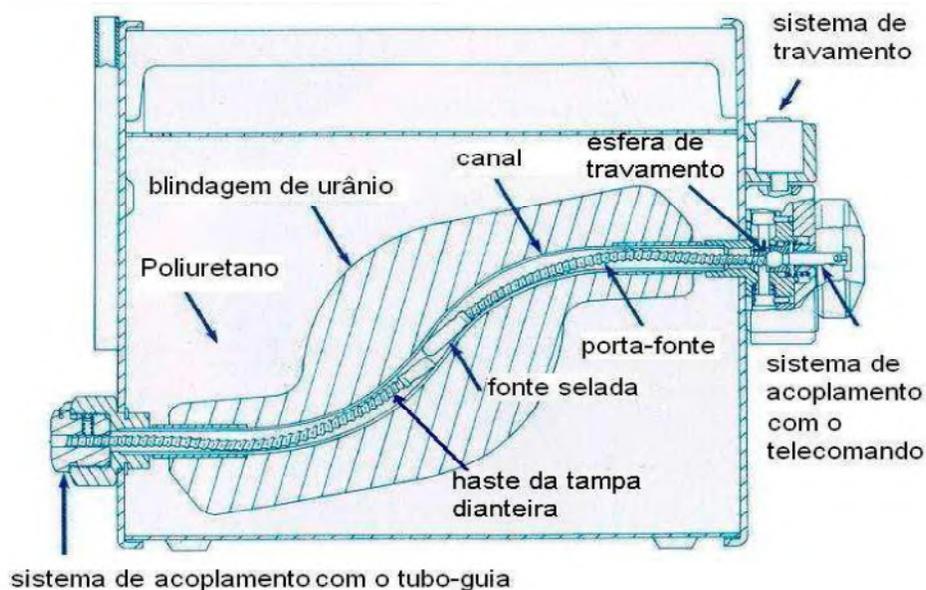


FIG. 2.9 Dispositivos de segurança OP-660 (AQUINO, 2003)

### 2.6.3 Aplicação do Método Comparativo

Os três modelos analisados apresentam diferenças em vários aspectos relevantes como peso, geometria e dispositivos de segurança incorporados. Do ponto de vista tecnológico, estes modelos representam três gerações distintas de irradiadores, de acordo com a época em que foram projetados. Ao compararmos o antigo modelo de irradiador OP-660 com o moderno Gammamat  $^{75}\text{Se}$ , referente aos dispositivos de segurança, encontramos as seguintes diferenças:

- Para manter a fonte em posição de segurança em sua parte dianteira, o OP-660 possui uma tampa com haste e sua fixação é na forma de parafuso, uma vez retirada, a fonte poderá ser exposta, mesmo sem conexão com o tubo-guia. Na FIG. 2.10 é possível comparar as tampas dianteiras de ambos os irradiadores. O modelo Gammamat  $^{75}\text{Se}$ , apresenta uma trava (pino) de segurança que impede que a fonte seja exposta sem que o tubo-guia esteja devidamente conectado, este pino é acionado manualmente para conectar e desconectar o tubo-guia.

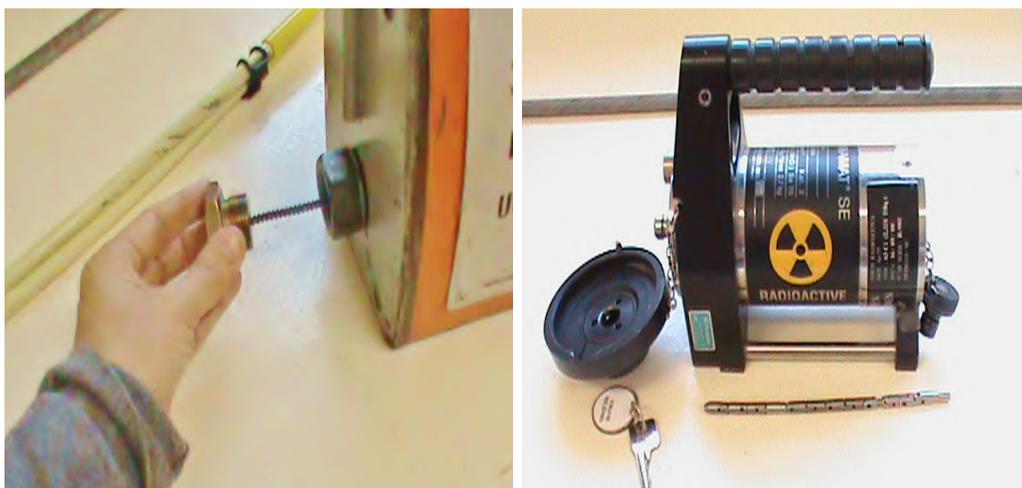


FIG. 2.10 Tampas dianteiras OP-660 e Gammamat  $^{75}\text{Se}$ .

- Na parte traseira, os dois modelos apresentam uma fechadura do tipo “mergulhão”, ilustrada na FIG. 2.11, que trava a fonte na posição de segurança e apenas depois de destravada libera para acionamento, a trava

adicional de segurança. Durante a exposição da fonte, não há como retirar a chave, no modelo OP-660, somente quando a fonte retorna a posição de segurança. O modelo Gammamat <sup>75</sup>Se permite a retirada da chave, mas não o travamento da fechadura do tipo “mergulhão”, enquanto a fonte não estiver na posição de segurança.



FIG. 2.11 Chave do tipo “mergulhão” OP-660.

- O OP-660 possui uma trava adicional em seu sistema de acoplamento com o cabo de comando, que através de rotação manual permite conectar o cabo de comando e posteriormente, destravar a fonte, conforme ilustrado na FIG. 2.12.



FIG. 2.12 dispositivos de segurança OP-660 (ANDREUCCI, 2005).

No irradiador Gammamat  $^{75}\text{Se}$ , para acionamento desta trava adicional (alavanca), é necessário conexão com o cabo de comando e liberação da fechadura. Ao pressionar a alavanca, é ativado o sistema visual de cores (verde/vermelho) que indicam o posicionamento da fonte, não disponível nos modelos Tech OPS-660.

- Outro dispositivo de segurança, comum somente ao Gammamat  $^{75}\text{Se}$ , trava a fonte quando recolhida, “desarmando” a alavanca, que deverá ser acionada manualmente para uma nova exposição.

Os irradiadores modelo Gammamat TI TI/F e TI/FF, pertencem a uma geração intermediária entre o OP-660 e o Gammamat  $^{75}\text{Se}$ . Quando comparados ao Gammamat  $^{75}\text{Se}$ , percebe-se alguns aspectos semelhantes entre eles, por exemplo: um canal reto (que não permite a retirada do porta-fonte pela parte posterior) e sistema de cores para sinalização visual. Abaixo, estão relacionadas diferenças dos dispositivos de segurança encontrados entre os dois modelos:

- Para os modelos destinados a fonte de  $^{192}\text{Ir}$ , as fechaduras são do tipo comum e travam o porta-fonte em posição de segurança, a retirada da chave não é possível, sem que a fonte esteja em posição de segurança. Os modelos destinados a fonte de  $^{75}\text{Se}$ , conforme já visto, possuem este acionamento de forma automática, uma vez que a fonte é travada quando recolhida, liberando a trava adicional e trava de acionamento da fechadura tipo “mergulhão”.
- Seu sistema de trava adicional é feito por acionamento de um excêntrico, após efetuar a conexão com o cabo de comando e abrir a fechadura. Este dispositivo funciona bloqueando o trecho posterior do canal do equipamento com o anterior, para alinhá-lo é preciso girar manualmente o sistema do excêntrico, conforme FIG. 2.13. O modelo Gammamat de  $^{75}\text{Se}$  substitui o sistema de excêntrico por uma alavanca também acionada manualmente.



FIG. 2.13 Excêntrico do modelo Gammamat TI-FF.

- O sistema de trava (pino) de segurança na dianteira é comum apenas ao modelo Gammamat  $^{75}\text{Se}$ , esta trava, como descrito anteriormente, impede que a fonte seja exposta sem que o tubo-guia esteja devidamente conectado. Nos modelos de  $^{192}\text{Ir}$ , somente a tampa, impede a exposição da fonte na parte dianteira.
- O mecanismo automático de segurança da fonte, que trava automaticamente o porta-fonte quando este é recolhido não está disponível nos modelos TI, TI/F e TI/FF.

### 3. CONCLUSÕES

Os três modelos de irradiadores utilizados neste trabalho para avaliação, representam bem o quadro geral dos equipamentos em atividade no país. O Tech OPS 660 é um modelo remanescente das primeiras gerações de irradiadores, seu uso ainda é permitido no país, devido as adaptações pelo qual passou para adequar-se a Norma ISO 3999 (1977). Entretanto, com o cancelamento da Norma NBR 8670 e futuramente, com a revisão da Norma CNEN-NN 6.04, estes modelos provavelmente, serão retirados de atividade.

Os modelos Gammamat TI TI-F e TI-FF, são versões posteriores as primeiras gerações de equipamentos e atendem a Norma nacional ABNT-NBR 8670, exigida pela CNEN. Com a atualização do padrão ISO 3999, estes modelos precisaram adequar-se para atender ao mercado internacional, trazendo a última geração de irradiadores, do qual o modelo Gammamat  $^{75}\text{Se}$ , faz parte.

Referente aos dispositivos de segurança presentes no modelo Gammamat  $^{75}\text{Se}$ , exigidos pelas últimas edições do padrão ISO 3999, a principal novidade é a existência de uma trava adicional para o porta-fonte, atuando juntamente com o mecanismo automático de segurança. Esta combinação de itens trava o porta-fonte automaticamente quando recolhido e em caso de movimentação involuntária do irradiador ele não sairá da posição de segurança. Nos modelos Gammamat de  $^{192}\text{Ir}$ , somente a rotação manual do excêntrico trava o porta-fonte em seu retorno ao equipamento.

A trava adicional (alavanca) disponível no modelo Gammamat  $^{75}\text{Se}$ , também aciona o dispositivo de sinalização visual, indicando através da cor vermelha, que o porta-fonte encontra-se destravado. A alternância para a cor verde é acionada pelo mecanismo automático de segurança quando o porta-fonte é travado, indicando a posição de segurança. Este dispositivo pode ser visualizado a 5 metros de distância e as cores não se apagam com o tempo, o mesmo não ocorre em modelos Gammamat que usam fonte de  $^{192}\text{Ir}$ .

Encontrado apenas no modelo Gammamat  $^{75}\text{Se}$ , o verificador do travamento do tubo-guia ou pino de segurança, posicionado na dianteira do equipamento, age de forma independente e impede que a fonte seja exposta

sem que o tubo-guia esteja devidamente conectado. Nenhum dos modelos de  $^{192}\text{Ir}$  analisados possui este importante dispositivo, que evita a exposição acidental da fonte.

O método comparativo mostrou-se satisfatório para identificação e análise dos dispositivos de segurança que fazem parte irradiador Gammamat  $^{75}\text{Se}$ . Estes dispositivos incorporam com eficiência o conceito de defesa em profundidade na engenharia de seu projeto e são bastante eficazes na prevenção de acidentes radiológicos. Para adequação as normas internacionais e maior competitividade, fabricantes buscaram aperfeiçoar seus projetos e como resultado, atualmente, há equipamentos mais modernos do que o próprio Gammamat  $^{75}\text{Se}$ . Ressaltando assim, a importância da aplicação das normas de qualidade e proteção radiológica que tornam os equipamentos de gamagrafia modernos e seguros. Com o cancelamento da Norma ABNT-NBR-8670 e a revisão da Norma CNEN NN-6.04, acreditamos que os equipamentos de gamagrafia que não atendam as atuais normas internacionais sejam retirados do mercado.

#### 4. RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, apresentamos as seguintes recomendações:

- Sugerir a ABNT que elabore nova norma, baseada na atual edição do padrão ISO 3999 (2004).
- Sugerir que a CNEN faça alteração na Norma CNEN - NN-6.04, tornando obrigatório o cumprimento a atual edição ISO 3999 (2004), no que diz respeito principalmente aos dispositivos de segurança.
- Recomendamos prazo de 3 a 5 anos, para que as empresas possam atender aos novos requisitos de segurança exigidos pelas normas nacionais, após sua revisão.
- Recomenda-se as empresas e prestadoras de serviço de gamagrafia que adquiram somente irradiadores que atendam as atuais edições ISO 3999, retirando de atividade os modelos antigos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AQUINO, Josilto Oliveira. **Avaliação das condições de segurança radiológica de irradiadores portáteis panorâmicos de gamagrafia industrial utilizados no Brasil**. 100 p. Dissertação (Mestrado em Radioproteção e Dosimetria) – Instituto de Radioproteção e Dosimetria, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, NBR 8670, **Equipamento de Radiografia Gama – Especificação**, Rio de Janeiro, Brasil, 1984.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN, **Funcionamento dos Serviços de Radiografia Industrial, CNEN-NN-6.04**, Rio de Janeiro, Brasil, 1989.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, CNEN, **Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**, CNEN-NE-3.01, Rio de Janeiro, Brasil, 2011.

DA SILVA, Francisco Cesar Augusto. **Uma metodologia de análise de acidentes radiológicos em gamagrafia industrial**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Nuclear) – Instituto Militar de Engenharia, 1990.

DA SILVA, F.C.A., HUNT, J.G., RAMALHO, A.T. and CRISPIM, V.R., **Dose reconstruction of a Brazilian industrial gamma radiography partial-body overexposure case**, Journal of Radiological Protection 25, p. 289-298, 2005

ROZENTAL, José de Júlio. **Interação da radiação com a matéria e efeitos biológicos da radiação**. CNEN – comissão Nacional de Energia Nuclear. Disponível em <http://www.cnen.gov.br>. Acesso em 15/08/2012.

ROZENTAL, José de Júlio. **Gamagrafia Industrial**. CNEN – comissão Nacional de Energia Nuclear. Disponível em <http://www.cnen.gov.br>. Acesso em 07/09/2012.

SANCHES,W. **Ensaios Não Destrutivos pela Técnica de Raios X e Gama**, Informação Nr.29 IEA, Instituto de Energia Atômica, São Paulo , 1974.

ANDREUCCI, Ricardo. **Radiologia Industrial. ABENDI** – Associação Brasileira de Ensaios não Destrutivos. Disponível em <http://www.abende.org.br>. Acesso em 26/08/2012.

ANDREUCCI, Ricardo. **Proteção Radiológica. ABENDI** – Associação Brasileira de Ensaios não Destrutivos. São Paulo, 2010.

IAEA (International Atomic Energy Agency), **Lessons learned from accidents in industrial radiography**, Safety Report Series No. 7, STI/PUB/1058, Vienna, 57 p (1998).

IAEA (International Atomic Energy Agency), **“Categorization of radioactive Sources”**, Safety Guide RS–G -1.9, Vienna, 2005.

IAEA (International Atomic Energy Agency), “**Radiation protection and safety in industrial radiography**”, Safety Report Series No. 13, STI/PUB/1066, Vienna, 61 p (1999).

ISO (International Organization for Standardization), “**Apparatus for industrial gammaradiography.**” Part 1: Specifications for performance, design and tests”. International Standard ISO 3999-1, Switzerland, 31 p.

PETROBRAS/CNEN, **Guia Prático em Segurança Radiológica para Contratação de Serviços de Radiografia Industrial**, Rio de Janeiro, Brasil, 2000.

CANDEIAS, Janaína Pinheiro. **Avaliação do Estado de Conservação Interna de irradiadores de Gamagrafia industrial.** 51 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear) – Instituto Militar de Engenharia, 2006.

Arctest Serviços Técnicos de Inspeção e Manutenção de Industria. **Gamagrafia Industrial.** Disponível em: <http://www.arctest.com.br/pt/gamagrafia/item/2tem/2-selênio-75>. Acesso em 26 ago. 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Disponível em: [http://www.abnt.org.br/IMAGENS/NORMALIZACAO\\_HOMOLOGACAO/20ago.pdf](http://www.abnt.org.br/IMAGENS/NORMALIZACAO_HOMOLOGACAO/20ago.pdf). Acesso em: 20 de set. de 2012.