

# APLICAÇÃO DE MODELOS PARA DEMONSTRAR O CONTROLE DE DOSES NA EXPEDIÇÃO DE TRANSPORTE DE MATERIAL RADIOATIVO

E. Gerulis<sup>1</sup>, G. A. A. Sordi<sup>1</sup>, O. P. Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, Brasil  
E-mail: egerulis@ipen.br

## RESUMO

As doses de radiação ionizante causadas por materiais radioativos são controladas com parâmetros tais como tempo, distância, blindagem além da limitação do seu acúmulo.

Em expedições de transporte de material radioativo estas doses são demonstradas através de realização de monitorações, mas em expedições suficientemente repetitivas, se não houver restrições regulamentares, as doses devem ser demonstradas através do uso de modelos. Os modelos devem ser realistas, restritivos e baseados em parâmetros ou em dados pré-obtidos. Devem ser utilizados para evitar a realização das monitorações e otimizar as doses ocupacionais, os custos de operação e os tempos requeridos para as expedições.

Este trabalho tem como objetivo apresentar o uso de modelos para demonstrar o controle das doses de radiação ionizante na expedição de transportes de materiais radioativos em substituição à realização de monitorações. Apresenta procedimentos utilizados na expedição de transporte de materiais radioativos produzidos por uma instalação radiativa onde se realizam monitorações e utilizam-se modelos em suas etapas da expedição, bem como apresenta os valores das doses ocupacionais recebidas por seus trabalhadores.

**Palavras chave:** Transporte, otimização, regulamentação.

## ABSTRACT

The doses of ionizing radiation caused by radioactive materials are controlled by parameters such as time, distance, shield besides the limitation of its accumulation.

In shipments of transport of radioactive material these doses are demonstrated by monitoring, but in sufficiently repetitive shipments, if there are not regulatory restrictions, the doses should be demonstrated through the use of models. Models must be realistic and based on restriction parameters or information previously obtained. It should be used to prevent the realization of the monitoring and optimizing occupational doses, decreasing costs and time required for shipments.

This paper aims to show the use of models to demonstrate the control of doses of ionizing radiation in the expedition of transport of radioactive materials to replace the monitoring. It shows the procedures used in shipments of transport of radioactive material produced by a facility where monitoring and models are used in their stages of shipment, and also shows the values of the doses received by workers.

**Key Words :** Transport, optimization, regulation.

**1. Introdução:** O transporte de material radioativo é uma atividade realizada com um estrito controle do campo de radiação ionizante. Os regulamentos apresentam os valores máximos permitidos de acúmulo de cargas para que os efeitos da radiação ionizante não prejudiquem trabalhadores, indivíduos do público e cargas sensíveis à radiação ionizante. Para a segregação de volumes contendo material radioativo, são utilizados três limites de dose como critérios: 5 mSv/ano para trabalhadores, 1 mSv/ano para membros do público e 0,1 mSv/remessa para filmes fotográficos não-velados [1]. Para que esses limites sejam cumpridos, os procedimentos de trabalho devem ser realizados usando hipóteses com modelos restritivos, porém realistas. Na prática, os produtores, expedidores e transportadores supõem os piores casos para demonstrar que nas suas rotinas os limites de dose não serão excedidos [2]. Este trabalho apresenta alguns modelos e hipóteses utilizados na produção, expedição e transporte de material radioativo, bem como

suas quantidades produzidas e doses recebidas pelos seus trabalhadores. Pretende demonstrar que se o acúmulo das quantidades de material radioativo for obedecido, os valores de taxa de dose de radiação ( $\mathcal{D}$ ) nas posições que representam a presença de pessoas não ultrapassarão os limites dos regulamentos.

**2. Materiais e Métodos:** Foram obtidos dados de instalações radiativas representativas que produzem, expedem e transportam material radioativo durante um semestre. Os materiais radioativos foram volumes de radiofármacos produzidos e expedidos em veículos rodoviários pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN. São transportados em rodovias por empresas transportadoras até aeroportos ou até os destinatários finais para jornadas menores que 8 horas. Os procedimentos de trabalho são realizados com ferramentas formadas por modelos, monitorações ou hipóteses baseados em requisitos regulamentares, por equipes de trabalhadores, conforme a TABELA 2.1, com potencial de receber dose de radiação ionizante. Os volumes, as expedições e as médias das doses efetivas ( $\mathcal{E}$ ) estão apresentadas na TABELA 3.1.

TABELA 2.1 Procedimentos de trabalho, equipes de trabalhadores, ferramentas e requisitos.

Procedimentos / Equipe	Ferramentas	Requisitos <sup>(1;2)</sup>
Produção de radiofármaco / EP*	Utilização de fatores tempo, distância, blindagem e uso de EPIs* * <sup>(3)</sup>	Dose equivalente efetiva $\leq$ limites regulamentares
Produção de volume / EE*		
Controle de contaminação externa do volume / ER*	Utilização de embalagens novas <sup>(4)</sup>	Valor de contaminação externa do volume $\leq$ limites regulamentares
Sinalização de volume / EE*	Utilização de banco de dados para impressão de informações em etiqueta radioativo e colagem manual de etiquetas em embalagem <sup>(4)</sup>	Classificação de volumes em categorias
Controle da sinalização de volume / ER*	Monitoração de $\mathcal{D}$ ' na superfície do volume <sup>(3)</sup> e registro em banco de dados	Volume
Acondicionamento de volume / EE*	Utilização de revezamento de trabalhadores	
Controle de carregamento de volume em veículo / ET*	Sistema informatizado limita acúmulo de carga para expedição em $\sum IT \leq 50$ por leitura de documento de expedição <sup>(4)</sup>	Veículo
Carregamento de volume / ET*	Utilização de revezamento de trabalhadores	
Preenchimento de Formulário de Monitoração de Carga e Veículo para Registro e cumprimento de exigência regulamentar <sup>(2)</sup> / ER*	Monitoração de $\mathcal{D}$ ' nas superfícies verticais dos compartimentos de carga <sup>(3)</sup>	O maior valor de radiação na superfície de veículo $\leq 2$ mSv/h
	Registro de valores 10 vezes menores do que as medidas tomadas nas superfícies <sup>(4)</sup>	O maior valor de radiação a 2 metros de superfície de veículo $\leq 0,1$ mSv/h
	Monitoração nas posições ocupadas (cabine) <sup>(3)</sup>	Aplicação de um PPR <sup>(6)</sup> e caso $\mathcal{D}' \geq 20$ $\mu$ Sv/h, uso de dosimetria individual <sup>(2)</sup>
Percurso de transporte / ET*	Utilização de blindagem entre cabine e compartimento de carga	Aplicação de um PPR
Descarregamento de volume de veículo / ET*	Utilização de revezamento de trabalhadores	Aplicação de um PPR

(1) Recomendação Internacional (OIEA TS-R 1)

(2) Regulamentação Nacional (NE CNEN 5.01)

(3) Trabalho com potencial de dose

(4) Trabalho sem potencial de dose

(5) Requisito específico utilizado nesta Instalação

(6) Programa de Proteção Radiológica

\*EP = Tarefa realizada por uma Equipe de Produção

\*EE = Tarefa realizada por uma Equipe de Embalagem

\*ER = Tarefa realizada por uma Equipe de Radioproteção

\*ET = Tarefa realizada por uma Equipe de Transporte

\*\* EPI= Equipamento de Proteção Individual

A 2 metros dos veículos, o registro de valores 10 vezes menores do que em suas superfícies é uma hipótese restritiva, já que essa proporção é ainda menor. As carrocerias dos veículos são fechadas e os veículos possuem divisórias plumbíferas entre o compartimento de carga e a cabine dos trabalhadores. A necessidade de distribuição da carga pelo transportador em vários destinos pelo trajeto requer que a classificação da expedição esteja sob uso não exclusivo. Essa condição requer  $\sum IT \leq 50$ . Os procedimentos foram realizados conforme a FIGURA 2.1.



Produção de Radiofármaco (*equipe de produção*)



Sinalização de Volume (*equipe de embalagem*)



Controle da Contaminação Externa de Volume (*equipe de radioproteção*)



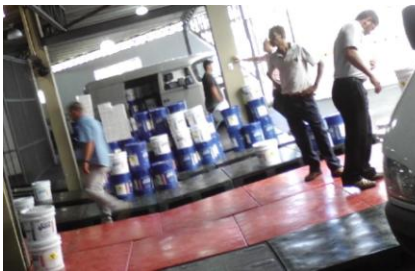
Produção de Volume (*equipe de embalagem*)



Controle da Sinalização de Volume (*equipe de radioproteção*)



Acondicionamento de Volume (*equipe de embalagem*)



Espera por Volumes Acondicionados (*equipe de transporte*)



Controle de Carregamento de Volume em Veículo (*equipe de transporte*)



Carregamento de Volume (*equipe de transporte*)



Monitoração para Preenchimento de Formulário (*equipe de radioproteção*)



Percurso de Transporte (*equipe de transporte*)



Descarregamento de Volume de Veículo (*equipe de transporte*)

FIGURA 2.1: Procedimentos relacionados com a expedição de material radioativo (*equipes de trabalhadores*).

**3. Resultados:** Os dados são relativos às expedições desde 1º de janeiro até 30 de junho de 2011. Nesse período foram produzidos 24.765 volumes de radiofármacos com os conteúdos apresentados na FIGURA 3.1.

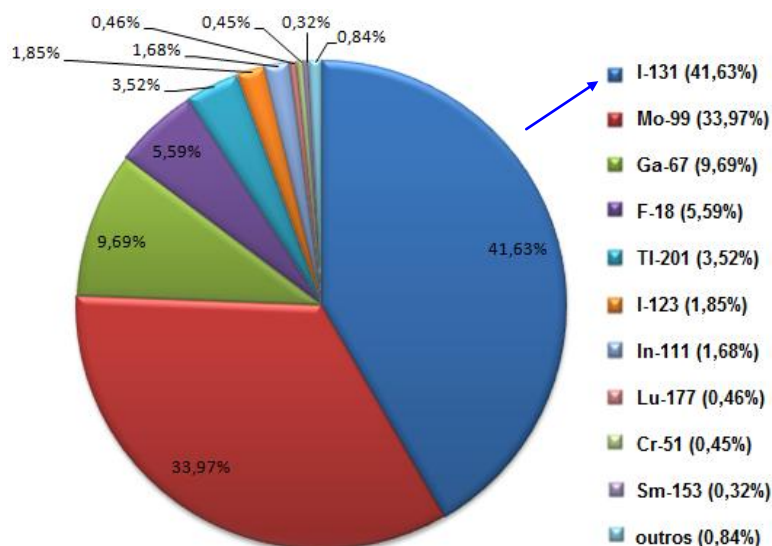


FIGURA 3.1: Conteúdo dos 24.765 Volumes Produzidos

TABELA 3.1: Volumes, expedições e média das doses efetivas ( $\bar{\epsilon}$ ) durante o 1º. Semestre de 2011.

Grupo de Trabalhadores	Volumes	Expedições	Volumes por Expedição	$\Sigma$ IT no período	$\Sigma$ IT por Expedição	$\bar{\epsilon}$ média (mSv)	$\bar{\epsilon}$ média por $\Sigma$ IT (%)	Nº. de Trabalhadores
Equipe de Produção (EP)	-	-	-	-	-	2,1 $\pm$ 2,0	-	51
Equipe de Embalagem (EE)	<i>total</i>	<i>total</i>	-	<i>total</i>	-	4,9 $\pm$ 2,2	0,027	5
Equipe de Radioproteção (ER)	<i>total</i>	<i>total</i>	-	<i>total</i>	-	0,7 $\pm$ 1,1	0,004	6
Equipe de Transporte (T1)	12.088 48,81%	789 42,76%	$\approx$ 15	8.590	10,9	6,4 $\pm$ 4,3	0,074	15
Equipe de Transporte (T2)	5.503 22,22%	406 22,00%	$\approx$ 13	3.800	9,4	13,8 $\pm$ 1,3	0,363	3
Equipe de Transporte (T3)	5.221 21,08%	428 23,20%	$\approx$ 12	3.148	7,3	6,9 $\pm$ 2,4	0,219	5
Equipe de Transporte (T4)	1.069 4,32%	121 6,56%	$\approx$ 9	715	5,9	NF*	-	NF*
Equipe de Transporte (T5)	884 3,57%	101 5,47%	$\approx$ 9	2.154	21,3	NF*	-	NF*
<b>Total</b>	<b>24.765</b>	<b>1.845</b>		<b>18.407</b>	-	-	-	-
<b>Valor Médio</b>	<b>4.953</b>	<b>405</b>	<b>13,42</b>	<b>3.681,4</b>	<b>11</b>	-	-	-

\*NF = Não Fornecido

Foram obtidas medidas de taxas de dose nas superfícies laterais e traseira dos veículos carregados bem como nas suas cabines. Os valores estão apresentados na FIGURA 3.2.

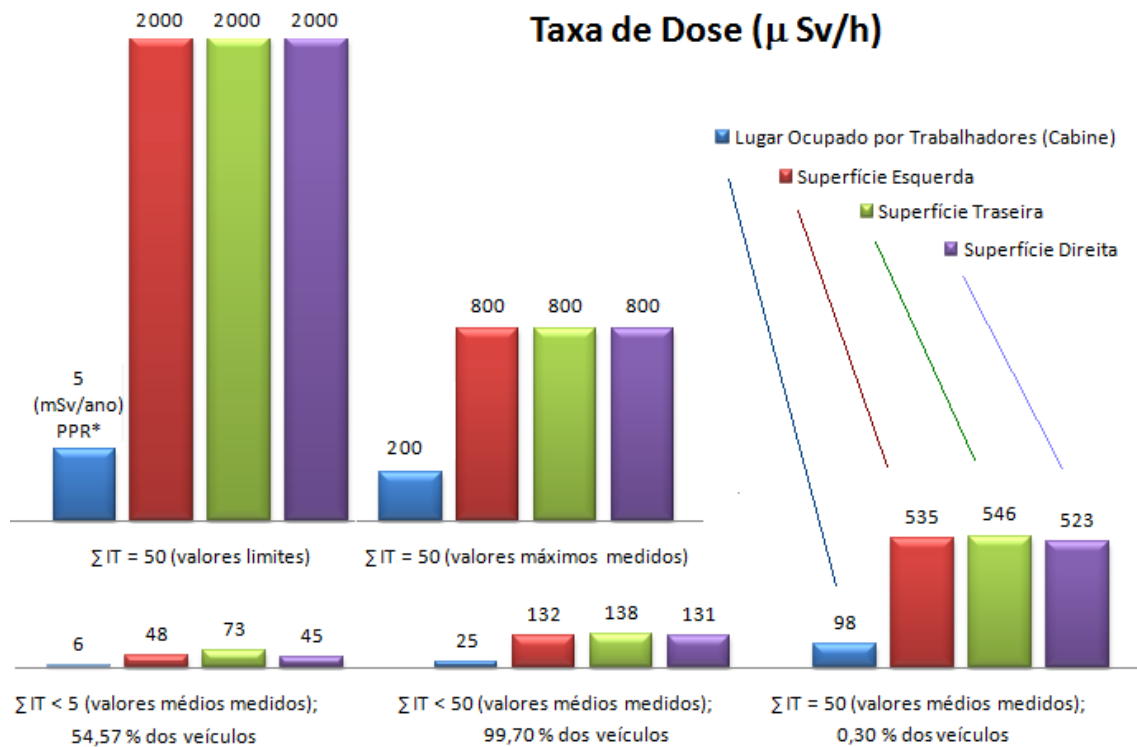


FIGURA 3.2: Valores de taxa de dose ( $\mu$ ) medidas nas 1.845 expedições.

**4. Discussões e Conclusões:** Na TABELA 3.1, o desvio padrão elevado em relação ao respectivo valor indica a discrepância entre as habilidades nos procedimentos dos trabalhadores. Isto mostra, entre as equipes de transporte, que T2 é o grupo mais homogêneo apesar de possuir o maior valor de dose efetiva média. O inverso ocorre com a equipe de radioproteção, onde alguns indivíduos permanecem mais tempo do que outros em local com radiação de fundo elevada. A espera pelos volumes em posição próxima ao seu acúmulo, conforme ilustra a FIGURA 2.1, aumenta significativamente a dose da equipe de transporte, na etapa de carregamento. No trajeto, a dose efetiva depende do tempo de percurso e da taxa de dose medida na cabine com divisória plumbífera. No descarregamento a dose depende dos procedimentos de entrega. As doses recebidas nessas etapas devem ser avaliadas pelas empresas transportadoras. Na FIGURA 3.2 observa-se que o primeiro fator limitante nas expedições é a  $\Sigma$  IT, ou seja, ao se limitar o acúmulo com o uso desse modelo, os valores máximos medidos nas superfícies serão menores do que os valores limites regulamentares apresentados na TABELA 2.1. O uso de modelos nos trabalhos relacionados com a expedição de material radioativo demonstra e evita as doses ocupacionais sem diminuir o controle realizado. O acúmulo é limitado pela soma do IT para pessoas não receberem doses em condições rotineiras. Dessa forma é desnecessária a obtenção de valores nessas condições diminuindo também os custos e os tempos necessários para as expedições.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem às empresas transportadoras pelos dados fornecidos (BND Bionuclear Diagnóstico Comércio e Serviços Ltda, HVL Assessoria e Planejamento em Proteção Radiológica Ltda e REM Indústria e Comércio Ltda).

#### REFERÊNCIAS

[1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos, Edición de 2005 (Corregida), Colección de Normas de Seguridad N<sup>o</sup> TS-R-1, OIEA, Viena (2010).

[2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safe Transport of Radioactive Material, Fourth Edition, TRAINING COURSE SERIES No. TC-S-1, IAEA, Vienna (2006).