

## **ESTUDO DE EMBALADOS COM BLINDAGEM EM METAL PESADO PARA TRANSPORTE DE SUBSTÂNCIAS ALTAMENTE RADIOATIVAS**

R. F. Lucchesi, D. H. S. Hara, L. G. Martinez, C. S. Mucsi, J. L. Rossi  
Av. Lineu Prestes 2242 - Cidade Universitária - 05508-000 - São Paulo - SP  
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, CNEN/SP  
rflguimaraes@ipen.br

### **RESUMO**

*Até o presente momento, o Brasil depende de embalados produzidos no exterior para o transporte em seu território de substâncias que sejam fontes de alta radioatividade, em especial o Mo-99, cujo produto do decaimento radioativo o Tc-99m, é utilizado na medicina nuclear para administração em seres humanos na forma de radiofármaco injetáveis, destinados ao diagnóstico por imagem de inúmeras patologias. Este trabalho teve por finalidade estudar os embalados existentes a fim de propor materiais para a construção da parte central onde fica a blindagem contra a radiação gama. Para tal, recorreu-se à literatura existente sobre o assunto, além de avaliação de embalados existentes e disponíveis. O estudo foi focado em embalados cujo núcleo é em metais pesados, em especial o urânio empobrecido, para blindagem da radiação emitida.*

Palavras-chave: materiais, blindagem radiológica, embalado.

### **INTRODUÇÃO**

Os radiofármacos são produtos radioativos produzidos para fins de diagnóstico e tratamento de doenças renais, coronárias, cerebrais, pulmonares, câncer entre outras. Sem a radiofarmácia, ramo da medicina nuclear, não seria possível realizar tais procedimentos e diagnósticos<sup>(1)</sup>. Os radiofármacos são medicamentos emissores de radiação gama, detectadas ao sair do tecido analisado por um aparelho que forma imagens. Dentre os medicamentos injetáveis mais utilizados está o Tc-99m, produto do decaimento radioativo do Mo-99 produzido em reatores.

As primeiras experiências com radiação em contato com tecidos aconteceu em 1905, após a descoberta do raio X por Röntgen em 1896. O primeiro uso de radionuclídeos em humanos ocorreu em 1927, onde Blumgart e Yens mediram a circulação sanguínea após a injeção de solução salina exposta a radônio<sup>(2)</sup>. No Brasil, os primeiros radionuclídeos apareceram quando o CNPq firmou um convênio com a USP e criou o IEA, atual IPEN-CNEN/SP, que produz 34 produtos radioativos. Em 2013 foram atendidas mais de 2 milhões de pessoas no país<sup>(3)</sup>. Esta produção é

monopólio da CNEN, pela Constituição promulgada em 1988<sup>(2)</sup>. A demanda por radiofármacos vem crescendo cada vez mais no Brasil, aumentando cerca de 10% ao ano os atendimentos aos pacientes. Os geradores de Mo-99/Tc-99m, atendem cerca de 28 milhões de pacientes<sup>(3)</sup> anualmente no mundo. Atualmente, o Brasil importa Mo-99 do Canadá, da Argentina, da África do Sul e da Bélgica<sup>(4)</sup>.

### ***O produto transportado***

Os radionuclídeos utilizados em diagnóstico são produzidos em reatores ou aceleradores de partículas. Como a maioria dos radionuclídeos emissores de beta menos, o Mo-99 é produzido a partir da fissão do U-235 em reator<sup>(2)</sup>. O Mo-99 decai para o Tc-99m com meia vida de 65,976 h, tempo suficiente para o transporte até o local onde será processado de modo a fazer os geradores de tecnécio. O decaimento é beta menos e gama neste estágio. Após esse primeiro decaimento, o produto Tc-99m decai formando Tc-99 com meia vida de 6,007 h, liberando fótons de aproximadamente 140 keV. O Tc-99 decai novamente por beta menos com meia vida de  $2,12 \cdot 10^6$  anos que, comparados à vida média humana, pode-se dizer que não oferece risco de deposição de energia por interação da radiação emitida com os tecidos do corpo, sendo eliminado de forma natural<sup>(5)</sup>. Os principais produtores de Mo-99 no mundo, responsáveis por 64% da produção mundial, são os reatores *National Research Universal* NRU (Canadá) e o *High Flux Reactor* - HFR (Países Baixos). Atualmente, o Brasil importa mais Mo-99 do Canadá, produzido no reator NRU e processados pela empresa *Nordion Inc.* empresa do grupo *Sterigenics International*.

### ***O embalado***

O embalado é formado por diversas camadas de materiais diferentes, conforme mostra esquematicamente a Fig. 1 (fora de escala). A porção central do embalado é uma cavidade antivazamento, onde é inserido o produto a ser transportado, neste caso o Mo-99. Esta parte central é fechada com uma tampa parafusada. Por ser líquido, o molibdato de sódio (Mo-99) necessita dessa camada bem lacrada para que reduza a probabilidade de vazamentos em caso de acidentes.

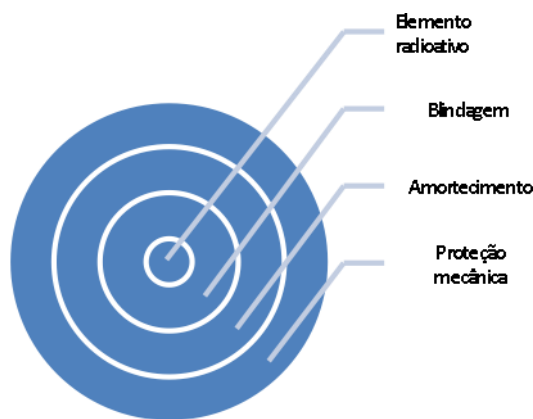


Figura 1. As partes que compõem um embalado segundo uma ordem específica e de acordo com a utilidade, blindagem de radiação, amortecimento e proteção mecânica.

Devido à emissão de radiação, inclusive radiação gama, o Mo-99 deve ser transportado em um embalado com blindagem apropriada. É a camada seguinte à central, produzida em material de alta densidade. Quando há necessidade, como para o transporte do Ir-192, devido à irradiação maior ainda que a do Mo-99, é acrescentada uma blindagem extra de metal pesado, descrito nos documentos como urânio empobrecido. Este material é de baixa emissão radioativa e efetiva proteção contra a radiação gama. Essa camada tem 4,5 cm de espessura, com altura de 27,4 cm. Existem diversos modelos de blindagens, diferindo entre si na altura e na espessura. Essa camada também é fechada com uma tampa parafusada <sup>(6)</sup>. . A Nordion utiliza o tungstênio nessa blindagem extra.

A próxima camada é a de amortecimento de choques. Nos documentos, consta como espuma de poliuretano <sup>(6)</sup>. Esse material é interessante para amortecimento, pois consegue absorver bem o choque sem se romper prontamente. Contudo, enrijece conforme recebe radiação, tornando-se mais frágil com o uso. A última camada é a proteção térmica e contra choques mecânicos, composta por aço inoxidável e um isolante térmico.

A CNEN.NE 5.01, norma que regulamenta o transporte de substâncias radioativas, dispõe sobre alguns requisitos para embalados Tipo B (U). Este tipo de embalado é utilizado para transporte de material para fabricação de alguns radiofármacos, incluindo o Mo-99 para os geradores, Co-60, Sb-124, Y-90 e o Ir-192 para sementes usadas em braquiterapia. As atividades variam de 250 Ci do Ir-192 a 486 Ci do Y-90.

Os esforços do presente trabalho têm se concentrado em fazer um embalado

para o Mo-99, pois é utilizado em mais de 90% dos casos tratados em diagnóstico. A atividade da fonte de Mo-99 é de cerca de 3,7 TBq ou 1000 Ci, sendo um emissor gama de alta energia, pois emite fótons com energias maiores que 740 keV.

### ***A blindagem***

Dentre os materiais indicados na literatura para blindagem de radiação gama estão o chumbo, o tungstênio e o urânio, devido a sua alta densidade. O chumbo não é um material caro, porém é resistente à corrosão química. É de fácil fabricação apesar da toxicidade elevada. O urânio é um material com densidade de 19,05 g/cm<sup>3</sup> enquanto o chumbo tem densidade de 11,35 g/cm<sup>3</sup>. Ao contrário do chumbo, o urânio oxida em contato com o ar. Para melhorar essa propriedade costuma ser misturado ao molibdênio, aumentando sua resistência mecânica também. É um material pirofórico e tóxico, devendo ser manipulado com cuidado. No Brasil, a única instituição autorizada a trabalhar com este elemento é a CNEN. O outro material indicado é o tungstênio. Com densidade maior dos três citados, 19,3 g/cm<sup>3</sup>, é de difícil fabricação e de custo elevado, sendo normalmente usado para blindagens menores, próximas à fonte<sup>(7)</sup>. Ao contrário do urânio que tem temperatura de fusão a cerca de 1135 °C, o chumbo e o tungstênio fundem a 327 °C e 3422 °C, respectivamente.

### ***Doses e limites de taxa***

Quando se usa radiação, é necessário estar atento a alguns princípios. Um dos princípios previstos pelos órgãos regulamentadores é o da limitação de dose aos indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE) e aos indivíduos do público. O limite indicado para transporte de material altamente radioativo, a um metro do embalado, é de 2 mSv/h (200 mrem/h)<sup>(8)</sup>. O limite derivado de taxa na parte externa de uma blindagem é de 0,025 mSv/h ou 2,5 rem/h ou 2,5 mR/h. Esse limite foi imposto para um trabalhador durante 2000 h por ano (40 h/sem durante 50 semanas de trabalho) e define as áreas às quais se pode permitir acesso aos trabalhadores sem restrições quando há monitoração individual<sup>(9)</sup>.

## **METODOLOGIA**

Para o cálculo da blindagem, foi utilizado o coeficiente de atenuação linear,

obtido através do site do *National Institute of Standards and Technology* - NIST - EUA, através do software XCOM<sup>(10)</sup>, e o fator gamã da fonte de Mo-99, obtida nos documentos que citam a ICRP.

Os valores utilizados foram:

- Coeficiente de atenuação mássico:

Para o urânio  $1,203 \cdot 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{g}$ , para o chumbo  $1,13610^{-1} \text{ cm}^2/\text{g}$  e para o tungstênio  $1,07310^{-1} \text{ cm}^2/\text{g}$ ; <sup>(11,12)</sup>.

- Fator gamã do Mo-99: o Mo-99 considerado é uma fonte de atividade de 1000 Ci, tendo fator  $0,917 \text{ R} \cdot \text{cm}^2/\text{mCi} \cdot \text{h}$ ; <sup>(13)</sup>.

Os cálculos foram efetuados utilizando a taxa de dose absorvida permitida para indivíduo trabalhador exposto, 2,5 mR/h, usando a equação A.

$$\dot{D} = \frac{\Gamma \cdot A \cdot e^{-\mu \cdot x}}{d^2} \quad (\text{A})$$

Onde,  $\dot{D}$  é a taxa de dose,  $d$  é a distância do indivíduo à fonte,  $x$  é a espessura da blindagem,  $A$  é a atividade da fonte e  $\mu$  é o coeficiente de atenuação linear.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos valores descritos acima, pôde-se chegar às espessuras de blindagem mostradas na Tab. 1.

Tabela 1. As espessuras calculadas através da fórmula de taxa de dose absorvida. Utilizou-se os valores descritos, obtidos do software XCOM e da documentação da *International Commission on Radiological Protection* - ICRP<sup>(14)</sup>.

Material	Espessura (cm)
Tungstênio	9,52
Chumbo	15,29
Urânio	8,6

## CONCLUSÃO

Uma blindagem para radiação gama deve ser produzida em metal pesado, sendo indicados em literatura o chumbo, o tungstênio e o urânio. O limite para IOE

indicado é de 2,5 mR/h. Os valores de coeficientes de atenuação linear podem ser obtidos através das tabelas e gráficos gerados pelo software online XCOM.

Os resultados obtidos de espessura por meio da fórmula de cálculo de taxa de dose absorvida, tabelados, mostram que uma blindagem com chumbo terá quase o dobro da espessura das demais, o que tornará o embalado maior e mais pesado que os demais. O material que resulta em uma menor blindagem é o urânio, o que justificou o seu uso pela MS Nordion do Canadá.

## AGRADECIMENTOS

A CAPES pela bolsa de Mestrado para R. F. Lucchesi e Projeto Pró-Estratégia n. 2058/2012.

## REFERÊNCIAS

- (1) MATHER, S. J. *Innovation in radiopharmacy: progress and constraints*. **Eur. Jour. Nucl. Med.** Vol 28, no. 4, 2001.
- (2) SANTOS-OLIVEIRA, R.; CARNEIRO-LEÃO, A. M. A. *História da radiofarmácia e as implicações da Emenda Constitucional N. 49*. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/rbcf/v44n3/a06v44n3.pdf>. Acessado em 04/08/14.
- (3) *Órbita IPEN - Reator Multipropósito Brasileiro*. Ano XIII, num. 74, Julho / Agosto 2013, pg. 4-5. Disponível em < <http://issuu.com/anapaula.freire/docs/orbita> >
- (4) *Nordion - Molybdenum-99 Fission Radiochemical*. Disponível em <[http://www.nordion.com/our\\_products/medical\\_isotopes\\_molybdenum99.asp](http://www.nordion.com/our_products/medical_isotopes_molybdenum99.asp)>. Acessado em 13/10.29014.
- (5) ROMERO, T. *Radiofármacos: produção deverá aumentar com novo acelerador*. Disponível em <http://inovacao.scielo.br/pdf/inov/v2n2/a10v2n2.pdf>. Acessado em 04/08/14.
- (6) Engineering Assessment of the Ability of the F-458/F-251, F-458/F-318, F-458/F-448, F-458/F-245, and F-458/F-247 to Meet the Requirements of IAEA TS-R-1, 1996 Edition (Revised) - IS/FR 1791 F458 (3) - MDS Nordion. Disponível em <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0515/ML051580218.pdf>. Acessado em 10/10/2014.
- (7) OSSO Jr., J. A.; DIAS, C. R. B. R.; BRAMBILLA, T. P.; TEODORO, R.; CATANOSO, M. F.; ZINI, J.; BEZERRA, R. R. L.; VILLELA, L. A.; CORREIA, J. L.; IVANOV, E.; CARVALHO, F. M. S.; POZZO, L.; SQUAIR, P. L.; MENGATTI, J. *Production of 99Mo at IPEN-CNEN/SP - Brazil*. Disponível em <http://www.ipen.br/biblioteca/2013/eventos/19834.pdf>. Acessado em 06/08/14.
- (8) MENGATTI, J. *Produção de radiofármacos*. In: **II Workshop internacional ENUMAS** em 20/08/2010. Disponível em <http://www.nipeunicamp.org.br/enumas2010/apresentacoes/Jair%20Mengatti%20-%2020-08.pdf>. Acessado em 06/08/14.

- (9) HEILBRON FILHO, P. F. L. *Cálculo de blindagem*. Rio de Janeiro: CNEN. Disponível em: <http://memoria.cnen.gov.br/manut/ImprimeRef.asp?AN=B0000293>. Acessado em 13/08/14.
- (10) XCOM: *Photon Cross Sections Database*. Disponível em <http://www.nist.gov/pml/data/xcom/index.cfm>. Acessado em 23/08/2014.
- (11) BINNS, D. A. C. *Dosimetria, radioproteção e blindagem de radiação*. CNEN: 1987.
- (12) CNEN-NE.5.01: *Transporte de Materiais Radioativos*. Disponível em <http://www.cnen.gov.br/seguranca/normas/mostra-norma.asp?op=501>. Acessado em 11/08/14.
- (13) COSTA, J. L. *Tungstênio*. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/tungstenio.pd>. Acessado em 24/08/14.
- (14) *International Commission on Radiological Protection - ICRP, 2008. Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations*. ICRP Publication 107. Ann. ICRP 38 (3).

## **STUDY OF CASKS SHIELDED WITH HEAVY METAL TO TRANSPORT HIGHLY RADIOACTIVE SUBSTANCES**

### **ABSTRACT**

Nowadays, Brazil relies on casks produced abroad for transportation in its territory of substances that are sources of high radioactivity, especially the Mo-99. The product of the radioactive decay of the Mo-99 is the Tc-99m, which is used in nuclear medicine for administration to humans in the form of injectable radioactive drugs for the image diagnosis of numerous pathologies. This paper aims to study the existing casks in order to propose materials for the construction of the core part as shielding against gamma radiation. To this purpose, the existing literature on the subject was studied, as well as evaluation of existing and available casks. The study was focused on the core of which is made of heavy metals, especially depleted uranium for shielding the emitted radiation.

Keywords: materials, radiation shielding, cask.