

CRITÉRIOS DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA NO TRANSPORTE DE MATERIAL RADIOATIVO

FERREIRA FILHO, Alfredo ¹; AQUINO, Josilto ²; RODRIGUES, Demerval ³

¹Centro Regional de Ciências Nucleares – CRCN-NE/CNEN

²Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN

³Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN

RESUMO

Este trabalho oferece informação explicativa, de forma didática, sobre a filosofia e a razão das novas exigências regulatórias referentes ao transporte de material radioativo; o chamado "por que" dos requisitos. Ao facilitar a compreensão e a aceitação pública desses requisitos, internacionalmente adotados, se estimula a adequação da norma brasileira às novas recomendações internacionais. O texto obviamente não aborda todos os aspectos e detalhes da referida regulamentação e sim os seus aspectos essenciais, de forma a relacioná-los aos objetivos gerais da proteção e segurança radiológica. Também está fora do escopo do presente artigo a problemática do transporte de substâncias fissionáveis sujeitas ao fenômeno da criticalidade.

Palavras chaves: transporte de material radioativo, segurança radiológica no transporte.

I. INTRODUÇÃO

A normativa referente ao Transporte de Material Radioativo é de difícil assimilação pelo usuário não especializado, devido às dificuldades de memorização de um grande número de regras e requisitos, não permitindo ao leitor uma rápida percepção de sua razão de ser. Este artigo, situado na intersecção dos três contextos presentes nos textos de divulgação científica, o midiático, o acadêmico e o de ensino [1], apresenta de forma mais esquematizada e didática os principais requisitos estabelecidos para o transporte seguro de material radioativo, relacionando-os aos objetivos gerais da proteção radiológica, de forma a esclarecer a razão das exigências regulatórias (o chamado "por que" dos requisitos), permitindo uma visão de conjunto do que se pretende alcançar. Ao facilitar a compreensão e a aceitação pública desses requisitos, se estimula a adequação da norma brasileira [2] às novas recomendações internacionais [3]. Afinal elas refletem um consenso de especialistas de todo o mundo sobre o que constituiria um alto grau de segurança para proteger à população, os bens e o meio ambiente contra os efeitos nocivos das radiações ionizantes no transporte de materiais radioativos.

II. O SISTEMA DE SEGURANÇA RADIOLÓGICA NO TRANSPORTE DE MATERIAL RADIOATIVO

A adoção de uma prática (uma atividade humana que faz aumentar a exposição ou a probabilidade de exposição que as pessoas normalmente recebem devido à radiação natural de fundo) resulta certamente situações de exposição planejadas, conforme definidas nas *Normas Básicas Internacionais de Segurança para a Proteção contra a Radiação Ionizante e para a Segurança das Fontes de Radiação* [4].

¹ E-mail do Autor. alfredo@cnen.gov.br

Mas pode originar também, além das exposições **normais** aquelas certas de ocorrerem (de rotina), ainda que com um certo grau de incerteza quanto à magnitude das doses **reais** que tais exposições acarretam, outro tipo de exposição, as exposições **potenciais**, aquelas que não sabemos se irão efetivamente ocorrer, uma vez que estão relacionadas com a possibilidade de acidente.

O meio que geralmente se utiliza para controlar as exposições normais é o da aplicação do **sistema de limitação de dose** preconizado no âmbito da proteção radiológica. Já para controlar as exposições potenciais, o meio utilizado está relacionado com o bom projeto das instalações e equipamentos, além dos procedimentos de operação. Neste caso, a finalidade é limitar a probabilidade de acidentes que pudessem produzir exposições não planificadas e mitigar suas conseqüências, caso ocorram.

O objetivo do sistema de segurança radiológica no transporte de material radioativo é, portanto, a proteção adequada a pessoas e ao meio ambiente contra **exposições reais e potenciais**. Partindo deste objetivo determinou-se a **Limitação da Taxa de Dose ou do Nível de Contaminação** (no exterior do embalado) como critério de segurança para a proteção contra **Exposições Reais** (advindas de condições normais de transporte) e a **Limitação do Conteúdo** do embalado como critério para a proteção contra **Exposições Potenciais** (advindas de eventuais condições acidentais de transporte). Se pode ainda separar, nas duas condições mencionadas, as medidas a adotar para o caso de **risco de irradiação externa** e para o caso de **risco de incorporação** de material radioativo pelo organismo, conforme esquema da Tabela 1.

Tabela 1 – Esquema dos critérios de segurança em função das condições de transporte e do tipo de risco.

Crítérios de Segurança	
I. Condições normais de transporte	
Proteção contra Exposições Reais:	Limitação da Taxa de Dose ou do Nível de Contaminação
Risco de Irradiação Externa	Limitação, categorização e rotulação em função da taxa de dose
Risco de Incorporação	Limitação da contaminação transitória na superfície
II. Condições acidentais de transporte	
Proteção contra Exposições Potenciais:	Limitação do Conteúdo
Risco de Irradiação Externa	Determinação do valor limite A1
Risco de Incorporação	Determinação do valor limite A2

Condições normais de transporte. Trata-se de circunstâncias comuns ou de rotina incluindo incidentes habituais (com razoável probabilidade de ocorrência mais de conseqüências leves).

Risco de Irradiação Externa. No Controle do risco de irradiação externa em *Condições Normais de Transporte* limita-se a radiação emergente de cada embalado (na superfície e a 1 metro) e a quantidade de embalados por expedição. Daí surge a necessidade de proceder-se a CATEGORIZAÇÃO e ROTULACÃO com base no esquema da Tabela 2, que permite melhor visualização da relação entre o que se mede a 1 metro do embalado (determinando o chamado Índice de Transporte) e o que se mede na superfície do mesmo.

Tabela 2 – Esquema de categorização e rotulação para o controle do risco de irradiação externa em condições normais de transporte.

Índice de Transporte (expressa o nível de radiação a 1 metro em mrem/h)	Nível de Radiação Máximo na Superfície Externa			
	$\leq 0,005$ mSv/h ($\leq 0,5$ mrem/h)	$> 0,005 \leq 0,5$ mSv/h ($>0,5 \leq 50$ mrem/h)	$> 0,5 \leq 2$ mSv/h ($> 50 \leq 200$ mrem/h)	$> 2 \leq 10$ mSv/h ($> 200 \leq 1000$ mrem/h)
0	I BRANCA			
$> 0 \leq 1$	II AMARELA			
$> 1 \leq 10$	III AMARELA			
> 10	III AMARELA E SOB USO EXCLUSIVO			

- Embalados exceptivos: sem rotulação externa
- Arranjos especiais: III Amarela
- Limite do nível de radiação em **veículos**: ≤ 2 mSv/h (200 mrem/h) em contato e $\leq 0,1$ mSv/h (10 mrem/h) a 2 metros.
- Radiação **em contato** máxima, emergente de um embalado (é o caso da categoria III Amarela Sob Uso Exclusivo): 10 mSv/h ou 1 rem/h (1000 mrem/h). Este, também é o valor máximo para Embalado Industrial, porém a 3 metros sem blindagem.

Risco de Incorporação. Para o Controle do Risco de Incorporação de material radioativo no corpo humano, também nas condições normais de transporte, limita-se a contaminação radioativa transitória do embalado considerando o tipo de emissão do radionuclídeo envolvido, conforme esquema (Tabela 3):

Tabela 3 – Esquema de limitação da contaminação radioativa transitória para o controle do risco de incorporação em condições normais de transporte

	Limite da Contaminação Radioativa Transitória
Emissores β , γ (e α de baixa toxicidade como Urânio e Tório)	4 Bq/cm ² (10^{-4} μ Ci/cm ²)
Para os demais emissores α	0,4 Bq/cm ² (10^{-5} μ Ci/cm ²)

Obs.: esfregar área ≥ 300 cm²

Para embalados exceptivos: uma ordem de grandeza menor.

Condições acidentais de transporte. Refere-se a situações de baixa probabilidade de ocorrência com possibilidade de destruição do embalado. A filosofia da proteção contra acidentes no transporte de material radioativo parte de dois postulados:

- Qualquer que seja a probabilidade não existe preocupação quando a consequência é pouco significativa.

- Quando a probabilidade é muito remota não existe preocupação qualquer que seja a consequência.

Entre estas situações extremas, se busca que quanto maior seja a magnitude da consequência mais precauções serão tomadas para reduzir a probabilidade de ocorrência da mesma.

Como vimos, a proteção contra doses potenciais está baseada na LIMITAÇÃO DO CONTEÚDO do embalado. Maior resistência do embalado, maior conteúdo radioativo permitido. O nível de segurança é, portanto, essencialmente dado pelo tipo de embalagem, conforme esquema de classificação abaixo (Tabela 4):

Tabela 4 – Esquema de classificação de embalados visando a limitação de conteúdo para a proteção contra doses potenciais (condições acidentais de transporte).

Classificação de Embalados

	Tipos de Embalado		Limite do Conteúdo	
			Mat. Rad. Forma Especial (MRFE)	Outras Formas (não MRFE)
Resistência da Embalagem X Conteúdo Radioativo [Bq]	Tipo C	Suporta condições acidentais de transporte em transporte aéreo..	Sem limite pré-estabelecido pelo regulamento. Limite determinado no projeto, conforme especificado no correspondente certificado de aprovação.	
	Tipo B	Suporta condições acidentais de transporte.	Sem limite pré-estabelecido pelo regulamento. Limite determinado no projeto, conforme especificado no correspondente certificado de aprovação.	
	Tipo A	Suporta condições normais de transporte.	A₁	A₂
	Industrial (IP)	Materiais BAE ou OCS. Resistência levemente inferior aos do tipo A (EI-1 e EI-2). Conteúdo variável.	a) Conteúdo limitado para que o nível de radiação a 3 metros do material ou objeto sem blindagem seja $\leq 10 \text{ m Sv/h}$ (1 rem/h). b) Segundo seja o conteúdo BAE ou OCS e o meio de transporte o conteúdo poderá ser $< 10 \cdot A_2$, $< 100 \cdot A_2$ ou ilimitado	
	Exceptivo	Conteúdo muito limitado. Sem características especiais de resistência	$10^{-3} A_1$	Sólidos e gases: $10^{-3} A_2$ Líquidos: $10^{-4} A_2$ Trício gasoso: $10^{-2} A_2$

III. CONCLUSÃO

A segurança no transporte se baseia fundamentalmente na segurança do embalado, tendo caráter secundário os controles operacionais durante as expedições. Desde este ponto de vista, a regulamentação está centrada nos requisitos de projeto das embalagens e nas normas que devem ser cumpridas pelo expedidor, que é quem prepara o o embalado para o transporte. O esquema seguinte (Tabela 5) resume os critérios de segurança e proteção adotados tanto para a proteção contra exposições reais quanto para potenciais, considerando ambos os riscos, de irradiação externa e de incorporação.

Tabela 5 – Esquema para a proteção contra exposições reais e potenciais, considerando os riscos de irradiação externa e de incorporação.

Critérios para proteção contra exposições reais <i>Condições normais</i>	Critérios para o caso de exposições potenciais <i>Condições acidentais</i>
Risco de Irradiação Externa	
Controle do nível de radiação no entorno dos embalados	Quanto maior é a resistência do embalado maior será o conteúdo radioativo permitido (atividade máxima)
Estabelecem-se os níveis máximos de radiação por embalado em contato e a 1 metro: Determinação da Categoria	Limitação do Conteúdo em função do risco de irradiação externa (emissão γ) MRFE (<i>não há risco de dispersão</i>): aplica-se o limite A_1 (Conteúdo $\leq A_1$) Exemplos: SND (sólido não dispersável) ou CS (cápsula selada) com certificado da A.C. (Autoridade Competente) - "Special form".
É estabelecido limite de acumulação de embalados por expedição: $\Sigma IT \leq 50$ (ou ≤ 200 , Uso Exclusivo).	
Distância de segregação Pessoa / embalado Outros objetos / embalado	
Risco de Incorporação	
Máxima Contaminação Transitória em superfície para cada embalado e cada meio de transporte.	Limitação do Conteúdo em função do risco de incorporação (radiotoxicidade) Outras formas (<i>não MRFE</i>): aplica-se o limite A_2 (Conteúdo $\leq A_2$)

APÊNDICE

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

- Embalado: embalagem + conteúdo radioativo
- Embalagem: exceto o conteúdo radioativo, inclui todos os componentes (estrutura, absorventes, blindagem, amortecedores, dissipadores e isoladores térmicos, etc.).
- Sistema de contenção: evita dispersão de material radioativo
- Sistema blindante: atenua a irradiação externa.
- Sistema Q: Consiste de modelos de exposição em cenários de supostos acidentes (já que o transporte não é a prova de acidentes). Como iguais atividades implicam distintas conseqüências, o sistema Q permite a determinação da atividade limite de cada radionuclídeo em um embalado tipo A (valores A_1 e A_2).
- OCS (SCO): objeto com contaminação na superfície maior ou igual a $0,4 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-5} \mu\text{Ci/cm}^2$) para emissores β e γ ou $0,04 \text{ Bq/cm}^2$ ($10^{-6} \mu\text{Ci/cm}^2$) para α . (trata-se de material em si não radioativo).

- BAE (LSA): Material radioactivo de baixa atividade específica (em Bq/Kg)
- MRFE: material radioactivo sob forma especial (special form). São sólidos não dispersáveis ou cápsulas seladas que suportem os ensaios mecânicos e térmicos com avaliação de perdas.
- Teremos transporte de material radioactivo quando se tratar de atividades maiores que 70 KBq/Kg (2 nCi/g). Exclui as transferências dentro das Instalações.
- Contaminação transitória: aquela que pode largar da superfície com a manipulação.
- Embalado exceptivo: conteúdo limitado em atividade (pequena fração do limite para tipo A). Nível de radiação em contato $\leq 5\mu\text{Sv/h}$ (0,5 mrem/h). Marca "radioactivo" no interior da embalagem, visível ao abrir.
- Embalado Industrial: BAE ou OCS. Limite de atividade depende também do meio de transporte.
- Embalados Tipo A: Quantidades pequenas, conteúdo limitado em atividade. Suportam condições normais de transporte, ou seja, maus tratos normais. Admite-se sua destruição em acidentes severos. O embalado Tipo A contém uma atividade máxima (A_1 para MRFE e A_2 para os demais), tal que em caso de acidente severo (se previu 5 cenários possíveis) a pessoa mais exposta a 1 metro do embalado por 30 minutos (situação pouco provável) terá uma dose efetiva $E \leq 50 \text{ mSv}$ ou 5 rem em todo o corpo ou uma dose equivalente $H \leq 500 \text{ mSv}$ ou 50 rem para os órgãos individuais, exceto cristalino (150 mSv ou 15 rem).
- Embalados Tipo B: Quantidades maiores. Conteúdo limitado pela capacidade de projeto de cada modelo aprovado pela Autoridade Competente. Deve resistir a acidentes severos.
- Tipo BF ou IF: material fissionável. Exige considerações quanto a criticalidade (possibilidade de reação de fissão em cadeia).
- Uso Exclusivo: Uso, com exclusividade, por um único expedidor (pode ser permitido o transporte com outras mercadorias), de um meio de transporte ou de um grande contêiner (mínimo de 6 metros), de modo que quaisquer operações de carga e descarga sejam realizadas segundo orientação do expedidor ou do destinatário.
- Aprovação especial de transporte: A autoridade reguladora autoriza o transporte de expedição que não satisfaz todos os requisitos da norma, quando o nível geral de segurança é, no mínimo, equivalente.

REFERENCES

- [1] Giering, Maria Eduarda; A Organização Retórica de Artigos de Divulgação Científica, V Simpósio Internacional de Estudos de Gêneros Textuais, Caxias do Sul, 2009. Disponível em: http://www.ucs.br/ucs/tplSiget/extensao/agenda/eventos/vsiget/portugues/anais/textos_autor/arquivos/a_organizac_ao_retorica_de_artigos_de_divulgacao_cientifica_influencias_externas.pdf
- [2] Comissão Nacional de Energia Nuclear, Transporte de Materiais Radioativos. Norma CNEN-NE-5.01 (Resolução CNEN 013/88), 123 pp, julho 1988.
- [3] International Atomic Energy Agency, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material - 2012 Edition, Specific Safety Requirements, n°. SSR-6, (168 pp.; 2012).
- [4] International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources: A Safety Standard. IAEA Safety Series n° 115, STI/PUB/996, ISBN 92-0-104295-7 (353 pp.; feb. 1996).