

## CAPÍTULO 9

### TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS

#### 9.1. INTRODUÇÃO

O uso de material radioativo muitas vezes requer o seu transporte entre instalações. Para isso ele deve ser acondicionado em uma embalagem apropriada que é projetada e construída para ser uma barreira efetiva entre ele e o meio ambiente. O conjunto formado pelo material radioativo e sua embalagem é chamado de *embalado*.

Para que o transporte seja realizado de forma segura para pessoas, objetos e meio ambiente foram criadas normas internacionais que servem como base para normas e regulamentos nacionais. Na classificação internacional de produtos perigosos, da Organização das Nações Unidas (ONU), os materiais radioativos são incluídos na Classe 7.

A Agencia Internacional de Energia Atômica (AIEA) elaborou o Regulamento para o Transporte Seguro de Materiais Radioativos, que foi atualizado e publicado em 2000 como Safety Standard Series nº TS-R-1 (ST-1, Revised).

Os requisitos de transporte se aplicam a todas as modalidades de transporte de materiais radioativos, ou seja, terrestre, aquático (fluvial e marítimo) e aéreo e engloba todas as operações e condições relativas ao transporte, tais como desenho, fabricação, manutenção e reparo de embalagens, descarga, recepção, armazenamento em trânsito, entre outras. Sempre que possível, deve-se evitar requisitos aplicáveis a um só meio de transporte, de forma a facilitar o transporte multimodal.

No Brasil a regulamentação sobre o transporte de materiais radioativos é feita pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, através da Norma CNEN-NE-5.01 e por outros organismos que regulam o transporte modal no país. Esses organismos possuem regulamentos para o transporte de material radioativo, em consonância com as normas e regulamentos da CNEN:

- ANTT - Agencia Nacional de Transporte Terrestre - *Resolução 420*;
- ANTAQ - Agencia Nacional de Transporte Aquático - *Resolução 2239*;
- ANAC - Agencia Nacional de Aviação Civil - *RBAC 175*;
- MARINHA DO BRASIL - *NORMAM 01*;
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - *Resolução 237 LC140, IN 05*; e
- MTE - Ministério do Transporte - *NR 29*.

#### 9.2. NORMA CNEN-NE-5.01: “TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS”

A Norma CNEN-NE-5.01 de 01/08/1988 estabelece os requisitos de segurança e proteção radiológica para o TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS, a fim de garantir um nível adequado de controle da eventual exposição de pessoas, bens e meio ambiente à radiação ionizante, compreendendo:

- a) retenção do conteúdo radioativo para evitar a dispersão de material radioativo e

- sua possível ingestão ou inalação, tanto durante o transporte normal como, também, em caso de acidente;
- b) controle do nível de radiação externa para reduzir o perigo devido à radiação emitida pelo *embalado*;
  - c) prevenção de criticalidade para impedir o surgimento de uma reação nuclear em cadeia; e
  - d) prevenção de danos causados por calor para impedir a exposição do embalado a temperaturas elevadas e a consequente degradação do material radioativo.

Na prática, esses objetivos são obtidos se:

- a) for garantida a contenção do *embalado* para transporte de material radioativo de forma a prevenir sua dispersão, ingestão ou inalação. Assim, deve-se levar em conta a atividade, em becquerel (Bq), e a natureza do conteúdo ao se projetar a embalagem;
- b) for controlado o nível externo de radiação, com a incorporação da blindagem ao embalado, e for sinalizado o nível de radiação existente no exterior do mesmo, através da identificação do nível máximo de radiação externa na rotulação, marcação e segregação;
- c) for controlada a configuração dos *embalados* contendo material físsil, tomando por base as especificações de projeto e a avaliação de subcriticalidade nuclear do arranjo de embalados; e
- d) forem evitados níveis elevados de temperatura na superfície do embalado e danos decorrentes do calor. A temperatura máxima do conteúdo e da superfície do embalado deve ser controlada pela utilização de material adequado e pela adoção de formas de armazenamento que garantam a necessária dissipação de calor.

A Norma CNEN-NE-5.01 estabelece que a expedição de materiais radioativos deve ser precedida de um Plano de Transporte que pode ser usado pelo mesmo expedidor para várias expedições da mesma espécie. No caso de transporte de material físsil, deve ser também apresentado um Plano de Proteção Física, elaborado em conformidade com norma específica da CNEN.

Segundo a Norma CNEN-NE-5.01, embora os embalados contendo material radioativo devam ser tratados com os mesmos cuidados adotados para outros produtos perigosos o nível de segurança é especificado pelo tipo de embalagem, em função do conteúdo radioativo. Os requisitos de segurança das embalagens são mais restritos à medida que aumenta o risco do material radioativo que irá conter. Os requisitos operacionais se limitam a poucas diretrizes, principalmente baseadas na informação das etiquetas dos embalados.

Além disso, sempre que seja factível, devem ser utilizados meios convencionais, sem necessidade de trabalhadores especializados, ferramentas e equipamentos especiais, no transporte de materiais radioativos.

### **9.3. ESPECIFICAÇÕES DOS MATERIAIS RADIOATIVOS PARA TRANSPORTE**

Para fins de transporte considera-se como radioativo qualquer material com atividade específica superior a  $74 \text{ kBq.g}^{-1}$ , em qualquer forma ou em forma especial, como sólido não dispersivo ou material contido em cápsula selada.

### 9.3.1. Material radioativo em forma especial

Os materiais radioativos em forma especial devem ter pelo menos uma dimensão não inferior a 5 mm, não podem quebrar ou estilhaçar sob os ensaios de impacto, percussão e flexão, e não podem se fundir ou dispersar quando submetidos a ensaios térmicos, conforme descrito na Norma CNEN-NE-5.01. Uma cápsula selada com material radioativo só pode ser aberta por meio de sua destruição.

### 9.3.2. Material radioativo em outras formas

Os materiais radioativos também podem, para transporte, ser apresentados em forma de material físsil ( $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ), de material de baixa atividade específica (BAE) que têm atividade específica limitada ou ainda de objetos de material não radioativo contaminados na sua superfície por material radioativo (OCS).

### 9.3.3. Embalados para transporte de material radioativo

Existe uma grande variedade de embalados, cada um desenhado de acordo com o tipo e atividade dos conteúdos. Consequentemente, quanto maior for a resistência dos sistemas de blindagem e de contenção do embalado, maior será o conteúdo radioativo que se poderá transportar.

Os requisitos relativos à resistência mecânica dos embalados e embalagens se expressam na forma de norma de comportamento e não de especificações de desenho, prescrevendo-se os objetivos a conseguir com o desenho mas não a forma de consegui-los. Ele confere ampla liberdade no desenho e na escolha dos materiais, permitindo a evolução associada ao desenvolvimento de novas tecnologias.

Os embalados para transporte de material radioativo devem ser selecionado dentre quatro tipos primários. Deve ser ressaltado, em cada caso, se o embalado contém material físsil:

1. Embalado Exceptivo - embalado no qual a embalagem, do tipo industrial ou comercial comum, contém pequena quantidade de material radioativo, com atividade limitada pela Norma CNEN-NE-5.01.
2. Embalado Industrial - embalado no qual a embalagem, do tipo industrial reforçado contém material de baixa atividade específica, BAE, ou objeto contaminado na superfície, OCS, com atividade limitada pela Norma CNEN-NE-5.01, podendo ser do Tipo EI-1, EI-2 e EI-3.
3. Embalado Tipo A - embalado constituído de embalagem projetada para suportar as condições normais de transporte com o exigido grau de retenção da integridade de contenção e blindagem, após a submissão aos ensaios especificados na Norma CNEN NE-5.01 e que atenda aos requisitos adicionais relativos à limitação do conteúdo radioativo.
4. Embalado Tipo B - embalado constituído de embalagem projetada para suportar os efeitos danosos de um acidente de transporte com o exigido grau de retenção da integridade de contenção e blindagem, após a submissão aos ensaios especificados na Norma CNEN-NE-5.01.

### 9.3.4. Limite da atividade para transporte de material radioativo

A atividade máxima do material radioativo contido em um embalado é

determinada levando-se em consideração que:

- a) seja improvável que um indivíduo permaneça à distância de 1 m do embalado por mais de 30 minutos;
- b) a dose efetiva para um indivíduo exposto na vizinhança do transporte do embalado, em condições de acidente, não deve exceder o limite de dose anual para indivíduos ocupacionalmente expostos; e
- c) as doses equivalentes recebidas pelos órgãos individuais, inclusive pele, de uma pessoa envolvida em um acidente de transporte não devem exceder 500 mSv ou, no caso do cristalino, 150 mSv.

Considerando as hipóteses acima, a AIEA desenvolveu o Sistema  $Q$  (*Quantity*) que permite determinar a quantidade de radionuclídeo que pode ser transportada em um embalado do tipo A. Esse sistema considera vários modos de exposição à radiação:

$QA$ : dose externa devida a fótons,

$QB$ : dose externa devida às partículas beta;

$QC$ : dose interna por via de inalação;

$QD$ : dose devida a contaminação de pele e ingestão; e

$QE$ : dose devida a imersão em nuvem radioativa.

Para fontes seladas, apenas duas possibilidades são consideradas na determinação do valor básico de atividade,  $A_1$ , sendo adotado o mais restritivo dos valores de  $QA$  e  $QB$ .

Para fontes não seladas, consideram-se todos os valores de  $Q$ , sendo selecionado sempre o mais restritivo para representar o valor básico de atividade,  $A_2$ .

A Tabela 9.1 apresenta os valores de  $A_1$  e de  $A_2$ , calculados pela AIEA, para os radionuclídeos mais empregados em medicina, indústria e pesquisa.

#### **9.3.4.1. Limite para embalados exceptivos**

Os embalados exceptivos que contenham objetos que sejam fabricados com materiais radioativos diferentes de urânio natural, urânio empobrecido ou tório natural, não devem conter atividades superiores aos limites aplicáveis especificados na Tabela 9.2.

Para objetos fabricados com urânio natural, urânio empobrecido ou tório natural, os embalados exceptivos podem conter qualquer quantidade desses materiais, desde que a superfície externa do urânio ou tório seja protegida por um revestimento inativo de metal ou de alguma outra substância resistente.

#### **9.3.4.2. Limite para embalados do Tipo A**

As atividades dos embalados do *Tipo A* não devem ser superiores a:

- a)  $A_1$  para material radioativo sob forma especial; e
- b)  $A_2$  para material radioativo sob outras formas.

#### **9.3.4.3. Limite para embalados do Tipo B**

Os limites aplicados aos embalados do *Tipo B* dependem da especificação dos

certificados de aprovação de seus projetos e das autorizações emitidas. Assim, esses embalados não devem conter:

- a) atividades superiores às autorizadas;
- b) radionuclídeos distintos daqueles autorizados; e
- c) conteúdo em estado físico ou químico ou em forma diferente dos autorizados.

**Tabela 9.1** - Valores Básicos de Limites de Atividade e Concentração em Embalados Tipo A para alguns Radionuclídeos.

Radionuclídeo	$A_1$	$A_2$	Concentração em Atividade para material exceptivo	Limite de Atividade para uma consignação exceptiva
	(TBq)	(TBq)	(Bq g <sup>-1</sup> )	(Bq)
Am-241	1 E+01	1 E-03	1 E 00	1 E+04
C-14	4 E+01	3 E 00	1 E+04	1 E+07
Ca-45	4 E+01	1 E 00	1 E+04	1 E+07
Cf-252	5 E-02	3 E-03	1 E+01	1 E+04
Cl-36	1 E+01	6 E-01	1 E+04	1 E+06
Co-57	1 E+01	1 E+01	1 E+02	1 E+06
Co-58	1 E 00	1 E 00	1 E+01	1 E+06
Co-58m	4 E+01	4 E+01	1 E+04	1 E+07
Co-60	4 E-01	4 E-01	1 E+01	1 E+05
Cr-51	3 E+01	3 E+01	1 E+03	1 E+07
Cs-137 (a)	2 E 00	6 E-01	1 E+01 (b)	1 E+04 (b)
Fe-59	9 E-01	9 E-01	1 E+01	1 E+06
Ga-67	7 E 00	3 E 00	1 E+02	1 E+06
H-3	4 E+01	4 E+01	(b)	-
I-125	2 E+01	3 E 00	1 E+03	1 E+06
I-131	3 E 00	7 E-01	1 E+02	1 E+06
In-111	3 E 00	3 E 00	1 E+02	1 E+06
Ir-192	1 E 00(c)	6 E-01	1 E+01	1 E+04
Kr-85	1 E+01	1 E+01	1 E+05	1 E+04
Mo-99 (a)	1 E 00	6 E-01	1 E+02	1 E+06
Na-22	5 E-01	5 E-01	1 E+01	1 E+06
Na-24	2 E-01	2 E-01	1 E+01	1 E+05
Ni-63	4 E+01	3 E+01	1 E+05	1 E+08
P-32	5 E-01	5 E-01	1 E+03	1 E+05
Pm-147	4 E+01	2 E 00	1 E+04	1 E+07
Po-210	4 E+01	2 E-02	1 E+01	1 E+04
Pu-239	1 E+01	1 E-03	1 E 00	1 E+04
Ra-226 (a)	2 E-01	3 E-03	1 E+01 (b)	1 E+04 (b)
S-35	4 E+01	3 E 00	1 E+05	1 E+08
Sc-46	5 E-01	5 E-01	1 E+01	1 E+06

Radionucléido	$A_1$	$A_2$	Concentração em Atividade para material exceptivo	Limite de Atividade para uma consignação exceptiva
	(TBq)	(TBq)	(Bq g <sup>-1</sup> )	(Bq)
Se-75	3 E 00	3 E 00	1 E+02	1 E+06
Tc-99m	1 E+01	4 E 00	1 E+02	1 E+07
Xe-133	2 E+01	1 E+01	1 E+03	1 E+04
Y-90	3 E-01	3 E-01	1 E+03	1 E+05

(a) Valores de  $A_1$  e/ou  $A_2$  incluem contribuições de núclídeos filhos com meia-vida inferior a 10 dias.

(b) Ver Tabela 9.2.

**Tabela 9.2** - Limites de atividade para embalados exceptivos.

Estado Físico do Conteúdo	Instrumentos ou Artigos		Materiais
	Limites para cada Item	Limites para o Embalado	Limites para o Embalado
Sólidos			
Sob forma especial	$10^{-2} A_1$	$A_1$	$10^{-3} A_1$
Outras formas	$10^{-2} A_2$	$A_2$	$10^{-3} A_2$
Líquidos	$10^{-3} A_2$	$10^{-1} A_2$	$10^{-4} A_2$
Gases			
Trício (H-3)	$2 \cdot 10^{-2} A_2$	$2 \cdot 10^{-1} A_2$	$2 \cdot 10^{-2} A_2$
Sob forma especial	$10^{-3} A_1$	$10^{-2} A_1$	$10^{-3} A_1$
Outras formas	$10^{-3} A_2$	$10^{-2} A_2$	$10^{-3} A_2$

## 9.4. ENSAIOS PARA EMBALADOS

Os embalados devem ser submetidos a ensaios que visam a demonstrar sua capacidade de resistência em condições normais de transporte. Assim, após o projeto do embalado, uma amostra deve ser submetida aos ensaios apresentados na Norma CNEN-NE-5.01.

### 9.4.1. Embalados do Tipo A

Esse tipo de embalado deve ser submetido aos ensaios abaixo, na ordem indicada:

1. *Ensaio de jato d'água*: a amostra deve ser submetida a um jato d'água que simule chuva com precipitação de 50 mm.h<sup>-1</sup>, durante uma hora.
2. *Ensaio de queda livre*: a amostra deve sofrer um queda livre sobre um alvo rígido, de modo a sofrer um dano máximo com relação aos aspectos de segurança, sendo a altura de queda função da massa do embalado. Para massas menores que 5.000 kg, a distância de queda livre é 1,2 m e, à medida que a massa aumenta, a distância de queda diminui para até 0,3 m.
3. *Ensaio de empilhamento*: a amostra deve ser submetida a uma carga de

compressão igual ou superior a 5 vezes a massa do embalado.

4. Ensaio de penetração: a amostra deve ser fixada sobre uma superfície rígida, plana e horizontal. Uma barra de aço de 6 kg, com extremidade hemisférica de 3,2 cm de diâmetro, é deixada cair de uma altura de 1 m, com o seu eixo verticalmente orientado, para atingir o centro da parte mais frágil da amostra.

Após passar pelos ensaios o embalado não pode apresentar vazamento, ou dispersão do material radioativo, nem perda de integridade de blindagem que possa resultar em aumento superior a 20% no nível de radiação em qualquer uma de sua superfície externa.

#### 9.4.2. Embalados do Tipo B

Esse tipo de embalado deve atender aos seguintes requisitos:

- a) satisfazer os requisitos para embalados do *Tipo A*;
- b) conservar, após os ensaios, blindagem suficiente para assegurar, mesmo estando com o máximo conteúdo radioativo que possa comportar, que o nível de radiação a um metro de sua superfície não exceda 10 mSv/h;
- c) impedir que o calor gerado pelo conteúdo radioativo afete adversamente a embalagem;
- d) evitar que as superfícies externas atinjam temperaturas superiores a 50°C;
- e) garantir a eficácia da proteção térmica durante o transporte, seja em condições normais, seja em situações acidentais previstas;
- f) restringir vazamento ou dispersão do conteúdo a  $10^{-6} \cdot A_2$  por hora, quando submetido aos ensaios para embalados *Tipo A*; e
- g) restringir o vazamento acumulado do conteúdo radioativo durante uma semana, no máximo a  $10 \cdot A_2$  para *Kr-85* e a  $A_2$  para os demais radionuclídeos.

Além de demonstrar a capacidade de resistência em condições normais de transporte, amostras dos embalados do *Tipo B* devem ser submetidas aos seguintes ensaios adicionais para demonstrar sua capacidade de resistência em condições acidentais de transporte:

1. Queda I: a amostra deve cair sobre um alvo de uma altura de 9 m, de modo a sofrer dano máximo;
2. Queda II: a amostra deve cair de uma altura de 1 m sobre uma barra de aço doce, medindo 20 cm de comprimento e 15 cm de diâmetro, rigidamente fixada e perpendicular ao alvo;
3. Queda III: a amostra deve ser submetida a um ensaio mecânico de esmagamento, de modo a sofrer máximo dano quando sujeita ao impacto de uma placa maciça e quadrada de aço doce, de 1 m de lado e massa de 500 kg, em queda livre de uma altura de 9 m;
4. Térmico: a amostra deve ser submetida, durante 30 minutos, a uma fonte de calor, com temperatura média de 800°C e coeficiente de emissividade maior que 0,9;
5. Imersão em Água: a amostra deve ser imersa sob uma camada de água com, no mínimo, 15 m de altura, durante um período não inferior a 8 h, numa posição capaz de acarretar o máximo dano.

## 9.5. REQUISITOS DE CONTROLE DURANTE O TRANSPORTE

Todo embalado deve exibir uma etiqueta indicativa do material radioativo em seu interior, com exceção do embalado exceptivo que possui quantidade limitada de material radioativo.

São utilizadas três tipos de etiquetas para identificar os materiais radioativos. Todas estas etiquetas exibem o símbolo internacional de radiação ionizante (trifólio). As informações contidas na etiqueta de um embalado são suficientes para determinar o risco associado, sem o uso de um detector de radiação.

### 9.5.1. Índice de Transporte

O Índice de Transporte (*IT*) é um número atribuído a um embalado com a finalidade de estabelecer:

- o controle da exposição à radiação e da criticalidade nuclear;
- os limites de conteúdo radioativo;
- as categorias para rotulação;
- os requisitos para uso exclusivo do meio de transporte;
- os requisitos de espaçamento durante armazenamento em trânsito;
- as restrições de mistura durante o transporte realizado mediante aprovação especial de transporte e durante armazenamento em trânsito; e
- o número de embalados permitido em um contêiner ou em um meio de transporte.

O *IT* expressa a taxa máxima de dose, em *mrem/h* (se a taxa de dose for medida em *mSv/h*, **multiplica-se** o valor por 100), a um metro da superfície externa do embalado. Deve-se arredondar o número encontrado para cima, até a primeira casa decimal, (e.g. 1,13 deve ser considerado 1,2). Quando o *IT* for igual ou inferior a 0,05 pode ser estimado como zero.

Para tanques, contêineres ou material BAE-I ou OCS-I desembalado, o valor determinado acima deve ser multiplicado pelo fator apropriado, com base na Tabela 9.3.

**Tabela 9.3** - Fatores de multiplicação do *IT* para embalados de grandes dimensões.

Maior seção reta (A) do embalado (m <sup>2</sup> )	Fator de multiplicação do IT
$A \leq 1 \text{ m}^2$	1
$1 \text{ m}^2 \leq A \leq 5 \text{ m}^2$	2
$5 \text{ m}^2 \leq A \leq 20 \text{ m}^2$	3
$A > 20 \text{ m}^2$	10

Quando for utilizado um pacote de embalados, seu *IT* será igual à soma dos *IT* de cada um de seus embalados.

Para um embalado, ou pacote de embalados, o *IT* não deve exceder a 10 e o nível máximo de radiação em qualquer ponto de sua superfície externa não deve ultrapassar  $2 \text{ mSv.h}^{-1}$ . Excetua-se o caso de expedições de Uso Exclusivo, quando o transporte é feito para um único expedidor de forma exclusiva, utilizando um meio de transporte.



Quando o expedidor garantir que medidas adicionais ou restritivas serão adotadas no sentido de compensar o não cumprimento de alguns itens da Norma CNEN-NE-5.01, poderá ser efetuado o transporte na modalidade de Arranjo Especial. Neste caso o transporte no país requer a aprovação específica da CNEN, ou aprovação multilateral, no caso de transporte internacional.

### 9.5.2. Categorias dos embalados

Para facilitar o reconhecimento dos riscos potenciais dos embalados eles devem apresentar em suas etiquetas de rotulação a categoria do embalado, conforme apresentado na Tabela 9.4. O tipo de etiqueta indica, rapidamente, para qualquer pessoa informada do público ou para autoridades, a taxa de dose próxima ao embalado, se o embalado não estiver danificado. Caso contrário, este valor deve ser avaliado.

As cores das etiquetas são padronizadas internacionalmente, conforme ilustrado na figura 9.1. A cor do texto e do símbolo de radiação é preta e a cor dos numerais I, II ou III deve ser vermelha.

**Tabela 9.4** - Categoria de Embalados.

Índice de Transporte (IT)	Nível Máximo de Radiação (NMR) na Superfície Externa do Embalado (mSv/h)	Categoria
IT = 0	$NMR \leq 0,005$	I - BRANCA
$0 < IT \leq 1$	$0,005 < NMR \leq 0,5$	II - AMARELA
$1 < IT \leq 10$	$0,5 < NMR \leq 2$	III - AMARELA
IT > 10	$2 < NMR \leq 10$	III - AMARELA USO EXCLUSIVO

Os embalados transportados segundo a modalidade de Arranjo Especial devem ser rotulados como Categoria III - Amarela.



**Figura 9.1** - Etiquetas padronizadas para embalados.

### 9.5.3. Rótulos, marcas e placas

Após definida a categoria para rotulação do embalado, deve-se afixar os rótulos

de risco, de acordo com os modelos e cores indicados na Norma CNEN-NE-5.01, em duas faces externas opostas do embalado.

Se o embalado contiver materiais radioativos com características adicionais de perigo, devem ser afixados rótulos específicos para indicar essas características, conforme regulamento de transporte de produtos perigosos.

Cada rótulo, exceto para material *BAE* ou *OCS*, deve apresentar ainda o nome do radionuclídeo presente (no caso de mistura, aqueles mais restritivos), a atividade (em Bq), e o *IT*. Não há necessidade de assinalar o *IT* quando o rótulo for da Categoria I - Branca.

Se o embalado pesar mais do que 50 kg deve ser assinalado no exterior da embalagem, de forma legível e durável, o peso bruto.

Todo embalado do *Tipo A* deve apresentar externamente, de forma legível e durável, a marca "*TIPO A*".

Todo embalado do *Tipo B* deve apresentar externamente, de forma legível e durável, os seguintes dados:

1. A marca de identificação atribuída ao projeto pela Autoridade Competente.
2. O número de série que identifica cada embalagem em conformidade com o projeto.
3. A marca *Tipo B(U)*, para embalados cujo projeto atende aos requisitos para aprovação unilateral ou *Tipo B(M)* para embalados cujo projeto exige aprovação multilateral.
4. O símbolo do trifólio, em alto relevo.

Tanques e grandes contêineres que contenham embalados não exceptivos devem exibir quatro placas de aviso, uma em cada face, em conformidade com o modelo e cores especificados (figura 9.2) na Norma CNEN-NE-5.01. O veículo rodoviário também deve exibir placas de aviso, afixadas nas duas laterais e na traseira da carroceria.



**PLACA DE AVISO PARA TANQUES E CONTEINERES**  
 A PALAVRA "RADIOATIVO" PODE SER SUBSTITUÍDA  
 PELO CORRESPONDENTE NÚMERO DA ONU.

**CORES:**  
 PARTE SUPERIOR DO FUNDO: AMARELO  
 PARTE INFERIOR DO FUNDO: BRANCO  
 TRIFÓLIO E LETRAS: PRETO

**Figura 9.2** - Placa para tanques e contêineres. A palavra “RADIOATIVO” pode ser substituída pelo número de classificação de materiais da ONU, conforme tabela 9.5.

A Tabela 9.5 apresenta um resumo da classificação de materiais radioativos adotada pela ONU. Essa classificação deve ser empregada em placas de aviso suplementares, afixadas imediatamente adjacentes às placas de aviso principais, nos veículos de transporte.

#### 9.5.4. Requisitos específicos para transporte terrestre

Quando um embalado, pacote, tanque ou contêiner for transportado por rodovia, deve-se atender aos requisitos a seguir:

- Caso o veículo rodoviário tenha carroceria sem paredes, as placas de aviso podem ser afixadas diretamente nos embalados, pacotes, tanques ou contêineres, desde que sejam claramente visíveis.
- Durante o transporte normal, o veículo deve possuir cobertura que previna ou impeça o acesso de pessoas não autorizadas ao seu interior.
- Durante o transporte normal, devem ser tomadas medidas para fixar o embalado, de modo que o mesmo não sofra deslocamento dentro do veículo.
- Entre o início e o final do transporte não devem ocorrer quaisquer outras operações de carga ou descarga.
- No veículo rodoviário transportando embalados, pacotes, tanques ou contêineres das categorias *Amarela II* e *Amarela III*, não deve ser permitida a presença de outras pessoas além do motorista e seus ajudantes autorizados.

**Tabela 9.5** - Resumo da classificação da ONU para nomes apropriados ao transporte de materiais radioativos e respectiva numeração.

Número da ONU	Nome Apropriado para Transporte e Descrição
2910	Material Radioativo - Embalado Exceptivo Quantidade Limitada de Material
2911	Material Radioativo - Embalado Exceptivo Instrumentos ou Artigos
2909	Material Radioativo - Embalado Exceptivo Artigos Manufaturados com Urânio Natural ou Empobrecido ou com Tório Natural
2908	Material Radioativo - Embalado Exceptivo Embalagem Vazia
2912	Material Radioativo - Baixa Atividade Específica (BAE-I) não físsil ou físsil isento
3321	Material Radioativo - Baixa Atividade Específica (BAE-II) não físsil ou físsil isento
3322	Material Radioativo - Baixa Atividade Específica (BAE-III) não físsil ou físsil isento
2913	Material Radioativo - Objeto Contaminado na Superfície (OCS-I e OCS-II) não físsil ou físsil isento
2915	Material Radioativo, Embalado Tipo A outras formas, não físsil ou físsil isento
2916	Material Radioativo, Embalado Tipo B(U) não físsil ou físsil isento
2917	Material Radioativo, Embalado Tipo B(M) não físsil ou físsil isento
3323	Material Radioativo, Embalado Tipo C não físsil ou físsil isento
2919	Material Radioativo sob Arranjos Especiais não físsil ou físsil isento
2978	Material Radioativo, Hexafluoreto de Urânio não físsil ou físsil isento

#### **9.5.5. Documentação para transporte de material radioativo**

A documentação necessária e obrigatória que deve acompanhar cada expedição de material radioativo é a seguinte:

- a) Envelope de Transporte;
- b) Ficha de Emergência;
- c) Declaração do Expedidor; e
- d) Ficha de Monitoração da Carga e do Veículo.

A Norma CNEN-NE-5.01 apresenta em seus *Anexos "C" e "D"*, respectivamente, a Ficha de Monitoração da Carga e do Veículo e a Declaração do Expedidor de Materiais Radioativos (ONU-Classe 7).

#### **9.5.6. Emergência no transporte de material radioativo**

Um acidente durante o transporte de material radioativo pode ser evitado/minimizado das seguintes maneiras:

- 1) Impondo certas restrições ao meio e modo de transporte, por exemplo:
  - Embalagens contendo líquidos pirofóricos não podem ser transportadas por via aérea;
  - No caso de transporte ferroviário ou rodoviário de materiais radioativos bastante perigosos, devem ser evitadas rotas que passem por zonas de alta densidade demográfica.
- 2) Atendendo a um plano de emergência adequado, de modo a minimizar as consequências de um acidente durante o transporte.

A natureza, características e consequências de acidentes de transporte, envolvendo material radioativo, dependem de vários fatores, tais como:

- Tipo de embalagem.
- Forma química e física do material.
- Radiotoxicidade.
- Quantidade de material.
- Modo de transporte.
- Severidade do acidente.
- Localização do acidente.
- Condições atmosféricas.

As consequências de um acidente no transporte variam desde um acidente pequeno, com uma grande probabilidade de ocorrência, a um acidente severo, com uma pequena probabilidade de ocorrência.

A experiência tem demonstrado que os riscos envolvidos em um acidente de transporte com materiais radioativos são pequenos.

## 9.6. RESPONSABILIDADES DURANTE O TRANSPORTE

O expedidor é o responsável pelo transporte do material radioativo e é seu dever, entre outros estabelecidos na Norma CNEN-NE-5.01:

- a) assegurar que o conteúdo de cada remessa esteja identificado, classificado, embalado, marcado e rotulado de forma completa e precisa e se encontre em condições adequadas para ser transportado. Uma declaração nesse sentido deverá ser apresentada pelo expedidor;
- b) incluir, nos documentos de transporte, as seguintes informações:
  - Nome e número apropriado da expedição, conforme a relação dos números da ONU.
  - As palavras “*material radioativo*”.
  - Notação apropriada para *BAE* ou *OCS*.
  - Nome e símbolo de cada radionuclídeo.
  - Uma descrição da forma física e química do material, ou a notação de que se encontra sob forma especial.
  - Atividade máxima do conteúdo radioativo.
  - Categoria do embalado.
  - Índice de transporte.

- Marca de identificação de cada certificado de aprovação emitido pela Autoridade Competente.
- c) fornecer ao transportador os seguintes documentos:
- Declaração do expedidor.
  - Envelope de transporte, padronizado pela *NBR 7504*.
  - Ficha de emergência, padronizada pela *NBR 7503*.
  - Ficha de monitoração do veículo.
- d) fornecer ao transportador:
- Nome do destinatário, endereço completo e rota a ser seguida.
- e) informar o transportador sobre:
- Equipamentos e requisitos especiais para manuseio e fixação da carga.
  - Requisitos operacionais suplementares para carregamento, transporte, armazenamento, descarregamento e manuseio de embalado ou uma declaração que tais requisitos não são necessários.
  - Quaisquer prescrições especiais de armazenamento para dissipação segura de calor do embalado, especialmente quando o fluxo de calor na superfície do mesmo exceder  $15 \text{ W.m}^{-2}$ .
  - Restrições impostas ao modo ou meio de transporte.
  - Providências a serem tomadas em caso de emergência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IAEA, “*Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material*”, ST-1, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1996.

IAEA, *Safe Transport of Radioactive Material*, Training Course Series, Fourth Edition, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2006.

Norma CNEN-NE-5.01 *Transporte de Materiais Radioativos*, 1988.

A.M. Xavier, J.T. Moro, P.F. Heilbron, *Princípios Básicos de Segurança e Proteção Radiológica*, UFRGS, 2006.