

LIMITES DE LIBERAÇÃO PARA REJEITOS RADIOATIVOS SÓLIDOS

José Claudio Dellamano e Gian-Maria A. A. Sordi

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)
Av. Professor Lineu Prestes 2242
05508-000 São Paulo, SP
jcdellam@ipen.br

RESUMO

A liberação de rejeitos radioativos sólidos foi regulamentada pela Norma CNEN-NE-6.05, em 1985. Daquela época até o presente, a experiência internacional na regulamentação de limites de liberação evoluiu e o regulamento da CNEN tornou-se muito conservador para alguns radionuclídeos e liberal para outros. A atualização destes valores é importante para que a segregação dos rejeitos na origem seja eficaz e coerente com o desenvolvimento tecnológico. A segregação é uma das etapas da gerência de rejeitos radioativos essencial para reduzir o volume de rejeitos e, conseqüentemente, os custos dela. A segregação consiste em separar os rejeitos radioativos de acordo com uma classificação pré estabelecida e neste contexto as estratégias para redução do volume e dos custos podem ser conduzidas de duas maneiras: estabelecendo procedimentos mais eficazes para segregação e atuando na classificação dos rejeitos. Mais importante que classificar os rejeitos é a tarefa de estabelecer limites para que um determinado material seja considerado ou não rejeito radioativo ou ainda para que este material permaneça ou não sob controle do órgão regulador. Essa estratégia vem sendo recomendada por organismos internacionais há algumas décadas e está relacionada com os conceitos de isenção e liberação. O presente trabalho apresenta uma comparação entre os limites de liberação estabelecidos pela CNEN e aqueles recomendados pela IAEA e Comunidade Européia.

1. INTRODUÇÃO

Os rejeitos radioativos são gerados em todas as atividades que envolvem o uso de materiais radioativos durante os seus processos operacionais, seja nas etapas do ciclo do combustível seja nas aplicações nucleares. Todos esses rejeitos devem ser gerenciados de forma a proteger o homem e seu meio ambiente.

Dentre as etapas da gerência de rejeitos radioativos, a minimização e a segregação são essenciais para reduzir volume e custos.

A minimização é um conceito que impõe a redução do volume dos rejeitos na origem e envolve o aprimoramento de métodos e processos de utilização de substâncias radioativas, aventando até a possibilidade de reduzir o volume ou extinguir a geração de rejeitos pela substituição da técnica por outra que não utilize substâncias radioativas [1].

A segregação dos rejeitos consiste em separar os rejeitos radioativos de acordo com uma classificação pré estabelecida. Neste contexto as estratégias para redução do volume e conseqüente redução dos custos envolvidos na gerência dos rejeitos podem ser conduzidas de duas maneiras:

a) Estabelecer procedimentos eficazes para a segregação - coletar separadamente rejeitos radioativos contendo radionuclídeos de meias-vidas diferentes ou ainda separar rejeitos cujas concentrações de atividade não justifique sua classificação como rejeito radioativo. Pode-se concluir, portanto, que a segregação está condicionada a uma classificação prévia que está vinculada ao controle do órgão regulador do país.

b) Atuar na classificação dos rejeitos - mais importante que classificar os rejeitos radioativos é a tarefa de estabelecer limites para que um determinado material seja considerado ou não como rejeito radioativo ou ainda para que este material permaneça ou não sob controle do órgão regulador. Esta estratégia vem sendo recomendada por organismos internacionais há algumas décadas e está relacionada com os conceitos de exclusão, isenção e liberação [2, 3].

De modo geral o órgão regulador deve estabelecer se o rejeito está inserido no sistema regulatório e portanto deve ser considerado como rejeito radioativo ou se o rejeito deve ser considerado fora do sistema regulatório, sendo tratado como “resíduo convencional”. O órgão regulador deve ainda estabelecer qual rejeito radioativo que esteja inserido no sistema regulatório pode ser isento deste controle por conter uma quantidade de atividade trivial.

“A isenção pode ser definida como a dispensa da obrigação de satisfazer uma condição imposta pela lei ou pelas autoridades públicas. Conseqüentemente, a palavra isenção nunca deve vir sozinha e deve sempre especificar de que requerimentos ou exigências existe a isenção” [4]. A Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) usa o conceito de isenção apenas no contexto de uma prática, entretanto o conceito é aplicável a rejeitos gerados por estas práticas [5].

Liberação é definida pelo IAEA como sendo a “remoção de materiais radioativos ou objetos radioativos inseridos em uma prática autorizada de qualquer controle futuro pela autoridade regulamentadora”. Além disso, estabelece que a liberação deve ser vinculada a valores ou limites de liberação que são “valores, estabelecidos pela autoridade regulamentadora e expressos em termos de concentração de atividade e/ou atividade total, iguais ou abaixo dos quais as fontes de radiação devem ser liberadas do controle regulatório” [5]. Os limites de liberação não devem ser, obrigatoriamente, iguais aos de isenção pois estão baseados em hipóteses diferentes, mas os organismos internacionais ainda não estabeleceram recomendações a respeito e em virtude disto, geralmente, são usados os mesmos valores como limites de liberação e isenção.

Pode-se considerar que enquanto a isenção é usada como parte de um processo para determinar a priori se uma fonte ou prática será inserida ou não nas exigências regulamentadoras, a liberação é uma forma de isenção a posteriori, ou seja, isenção das exigências regulamentadoras de uma fonte que por alguma razão estava sob controle regulatório, mas que não necessita mais estar.

Na última década a Agência Internacional de Energia Atômica estabeleceu limites de isenção para todos os radionuclídeos e valores de liberação para diversos radionuclídeos presentes em rejeitos radioativos em aplicações na medicina, na indústria e na pesquisa [6] e para materiais sólidos em geral [7]. O limite de liberação para rejeitos sólidos praticados pela autoridade nacional, entretanto, continua sendo aquele estabelecido em 1985 e por isso tornou-se muito conservador para alguns radionuclídeos e muito liberal para outros. A atualização destes valores é importante para que a segregação dos rejeitos na origem seja eficaz e coerente com o desenvolvimento tecnológico.

2. COMPARAÇÃO DOS LIMITES DE LIBERAÇÃO

Foi realizada uma comparação entre os limites de liberação estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear [8], aqueles recomendados pela Agência Internacional de Energia Atômica [5] e aqueles definidos pela Comunidade Européia [4] para cenários de exposição em aterros sanitários, para alguns radionuclídeos que compõem o inventário radioisotópico dos rejeitos radioativos recebidos pelo Laboratório de Rejeitos Radioativos (LRR) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Os limites de liberação adotados neste estudo e as siglas utilizadas para a sua identificação foram:

a) CNEN - limite estabelecido pela autoridade nacional de 74 Bq/g, constante na norma CNEN-NE-6.05 [8] que independente do radionuclídeo presente no rejeito radioativo;

b) IAEA – limites recomendados pelo IAEA com valor distinto para cada radionuclídeo, constantes na publicação Safety Series 115 [5]. Estes valores são o resultado arredondado da soma dos valores de todas as rotas (ingestão, inalação e exposição externa) do cenário mais restritivo de exposição, dentre aqueles considerados na publicação "radiation protection publication 65" da Comunidade Européia [4]. Este arredondamento considera que: se o valor calculado estiver entre 3×10^x e $3 \times 10^{x+1}$ será arredondado para 10^{x+1} , caso contrário será arredondado para 10^x . Estes limites são considerados limites de isenção;

c) EURO - limites calculados utilizando a metodologia da publicação "radiation protection publication 65" [4] com valor distinto para cada radionuclídeo. Os cálculos consideraram todas as rotas, porém apenas o cenário de disposição em aterros sanitários, que é o destino provável para os rejeitos radioativos que não necessitam mais estar sob controle regulatório e portanto podem ser considerados resíduos. Como no caso dos limites IAEA, efetuou-se a soma dos valores de todas as rotas e os mesmos critérios para o arredondamento. Estes limites também são considerados limites de isenção.

As expressões utilizados para o cálculo dos limites EURO, para o cenário de disposição em aterro e para as três rotas possíveis são apresentados a seguir [4]:

a) exposição externa : $E = C_{EXT.} \cdot W_{ext.}$ onde:

$$W_{ext.} = T \cdot (GAM \cdot R_1) \cdot s$$

$$E = \text{Dose efetiva anual média (Sv . ano}^{-1}\text{)}$$

$$C_{EXT.} = \text{Concentração de atividade (Bq . g}^{-1}\text{)}$$

$$T = \text{Tempo de exposição (300 h . ano}^{-1}\text{)}$$

$$GAM = \text{Taxa de dose efetiva à 1m de uma espessura infinita de 1 Bq/g, por MeV de energia gama (} 3 \times 10^{-7} \text{ Sv . h}^{-1} / \text{Bq . g}^{-1} \cdot \text{MeV)}$$

$$R_1 = \text{A energia média dos fótons por desintegração (MeV)}$$

$$s = \text{Probabilidade de que ocorra uma exposição em um ano (maior probabilidade admissível pelos organismos internacionais [9] : } 10^{-2} \text{ ano}^{-1}\text{)}.$$

b) ingestão: $E = C_{\text{ING.}} \cdot W_{\text{ing.}}$ onde:

$$W_{\text{ing.}} = M \cdot f \cdot R_9 \cdot \text{DECAY}$$

E = Dose efetiva anual média (Sv . ano⁻¹)

$C_{\text{ING.}}$ = Concentração de atividade da fonte (1 Bq . g⁻¹)

M = Massa da fonte (1 x 10² g)

f = Fração da fonte ingerida em um ano (1 x 10⁻²)

R_9 = Dose efetiva comprometida por unidade de incorporação por ingestão (Sv . Bq⁻¹)

DECAY = Fração do nuclídeo pai remanescente após 24 horas de decaimento radioativo (os filhos não são considerados)

c) inalação: $E = C_{\text{INAL.}} \cdot W_{\text{inal.}}$ onde:

$$W_{\text{inal.}} = T \cdot \text{INH} \cdot R_{10} \cdot \text{Dust} \cdot s$$

E = Dose efetiva comprometida anual média (Sv . ano⁻¹)

$C_{\text{INAL.}}$ = Concentração de atividade (Bq . g⁻¹)

T = Tempo de exposição caso a exposição ocorra (1 h)

INH = Taxa de respiração (1 m³ . h⁻¹)

R_{10} = Dose efetiva comprometida por unidade de incorporação por inalação (Sv . Bq⁻¹)

Dust = Concentração de aerossóis (10⁻³ g . m⁻³)

s = Probabilidade de que ocorra uma exposição em um ano ((maior probabilidade admissível pelos organismos internacionais [9] : 10⁻² ano⁻¹).

As concentrações de atividade devido à exposição externa, ingestão e inalação, resultantes da disposição de rejeito em aterro, foram calculadas para os radionuclídeos de interesse e os valores, após arredondamento, são os limites de liberação EURO.

3. RESULTADOS

Os três limites de liberação recomendados ou calculados CNEN, AIEA e EURO, para os radionuclídeos de interesse são apresentados na Tabela 1.

4. CONCLUSÕES

O limite nacional quando comparado com aqueles recomendados internacionalmente é muito restritivo para os radionuclídeos de meia-vida curta ou beta emissores enquanto é liberal para os radionuclídeos de meia vida longa e alfa emissores. Estas variações indicam que há uma necessidade de reavaliar e atualizar os limites constantes na Norma nacional de maneira que se possa otimizar as operações de segregação dos rejeitos na origem, bem como reduzir o volume de rejeitos radioativos efetivamente gerados nas instalações, principalmente, radiativas.

Outro resultado importante é que, para o inventário radioisotópico de interesse, os valores dos limites recomendados pela IAEA são, em sua maioria (aproximadamente 80% dos radionuclídeos), iguais aos limites definidos pela Comissão Européia, o que indica que dentre todos os cenários considerados nos estudos da Comissão Européia, o cenário de disposição em aterros, na maioria dos casos, é o mais restritivo.

Tabela 1. Limites de liberação dos radionuclídeos de interesse

RN	CNEN ⁽¹⁾ (Bq/g)	IAEA ⁽²⁾ (Bq/g)	EURO ⁽³⁾ (Bq/g)	RN	CNEN ⁽¹⁾ (Bq/g)	IAEA ⁽²⁾ (Bq/g)	EURO ⁽³⁾ (Bq/g)
³ H	7,40 E+01	1,00 E+06	1,00 E+06	¹²⁵ I	7,40 E+01	1,00 E+03	1,00 E+03
¹⁴ C	7,40 E+01	1,00 E+04	1,00 E+04	¹³¹ I	7,40 E+01	1,00 E+02	1,00 E+02
²² Na	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01	¹³⁴ Cs	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01
³² P	7,40 E+01	1,00 E+03	1,00 E+04	¹³⁷ Cs	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01
³⁵ S	7,40 E+01	1,00 E+05	1,00 E+05	¹⁵² Eu	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01
⁵¹ Cr	7,40 E+01	1,00 E+03	1,00 E+03	¹⁹² Ir	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01
⁵⁵ Fe	7,40 E+01	1,00 E+04	1,00 E+04	¹⁹⁸ Au	7,40 E+01	1,00 E+02	1,00 E+02
⁵⁷ Co	7,40 E+01	1,00 E+02	1,00 E+02	²⁰³ Hg	7,40 E+01	1,00 E+02	1,00 E+02
⁶⁰ Co	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01	²⁰⁴ Tl	7,40 E+01	1,00 E+04	1,00 E+04
⁶⁵ Zn	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01	²¹⁰ Pb	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01
⁸² Br	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01	²¹⁰ Po	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01
⁹⁰ Sr	7,40 E+01	1,00 E+02	1,00 E+03	²¹² Pb	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01
⁹⁹ Mo	7,40 E+01	1,00 E+02	1,00 E+02	²²⁶ Ra	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01
^{99m} Tc	7,40 E+01	1,00 E+02	1,00 E+02	²²⁸ Ra	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01
¹⁰⁹ Cd	7,40 E+01	1,00 E+04	1,00 E+04	²³⁹ Pu	7,40 E+01	1,00 E+00	1,00 E+01
¹¹⁰ Ag	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+01	²⁴¹ Am	7,40 E+01	1,00 E+00	1,00 E+01
¹²¹ Te	7,40 E+01	1,00 E+01	1,00 E+02	Th - nat	7,40 E+01	1,00 E+00	1,00 E+00
^{123m} Te	7,40 E+01	1,00 E+02	1,00 E+02	U - nat	7,40 E+01	1,00 E+00	1,00 E+00

(1) Limites estabelecidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear

(2) Limites recomendados pela Agência Internacional de Energia Atômica

(3) Limites definidos pela Comunidade Européia

RN - Radionuclídeo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **Minimization and segregation of radioactive wastes**, IAEA, Vienna, 1992, IAEA-TECDOC-652.
- [2] McHUGH, J. O. , **Exemption and clearance of radioactive waste from non-nuclear industry: a UK Regulator's perspective**. *In*: Proceedings of a Specialist's meeting on application of the concepts of exclusion, exemption and clearance: implications for the management of radioactive materials, May 6 to 9, 1997, Vienna. p. 45-51, IAEA, Vienna, 1997.
- [3] BLOMMAERT, L.; TEUNCKENS, L., **Clearance, a powerful tool in optimizing the volume of radioactive wastes**. *In*: Proceedings of a Specialist's meeting on application of the concepts of exclusion, exemption and clearance: implications for the management of radioactive materials, May 6 to 9, 1997, Vienna. p. 200-210, IAEA, Vienna, 1997.
- [4] COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, **Principles and methods for establishing concentrations and quantities (exemption values) below which reporting is not required in the European Directive**, Radiation Protection No. 65, DOC.XI-028/93, CEC, Brussels, 1993.
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for safety of radiation sources**, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna, 1996.
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research**, IAEA-TECDOC-1000, IAEA, Vienna, 1998.
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, **Clearance levels for radionuclides in solid materials – Application of exemption principles**, IAEA-TECDOC-855, IAEA, Vienna, 1996.
- [8] COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, **Gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas**, CNEN-NE-6.05, CNEN, Rio de Janeiro, 1985.
- [9] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, **Protection from potential exposures: a conceptual framework**, Pergamon Press, New York, 1992, ICRP Publication 64.