

GESTÃO DE FONTES RADIOATIVAS SELADAS DESCARTADAS

Roberto Vicente, Gian-Maria Sordi e Goro Hiromoto

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Av. Lineu Prestes 2.242
05508-900 Butantã, São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

Há no Brasil, atualmente, centenas de milhares de fontes radioativas seladas em uso na indústria, na medicina, na pesquisa científica e em outras aplicações. Uma parcela significativa dessas fontes, ao ser retirada de serviço, é recolhida como rejeito radioativo e armazenada em depósitos intermediários. Falta, porém, uma tecnologia de deposição segura e economicamente viável. Apresenta-se neste trabalho um conceito de repositório profundo do tipo poço tubular, para deposição das fontes em uma instalação exclusiva, desenhada segundo o conceito de barreiras múltiplas e que pode ser construída com tecnologia disponível no país.

Keywords: geological repository, spent radiation sources, waste disposal

I. INTRODUÇÃO

As fontes radioativas seladas são dispositivos de grande valor em diversas aplicações industriais, médicas, de pesquisa e até em produtos de consumo, e, por isso, o seu uso continua a crescer em todo o mundo. Contudo, são objetos pequenos e reluzentes, facilmente confundidos com peças de maquinaria, que podem representar um grande risco para pessoas desinformadas sobre a natureza e a intensidade do perigo que carregam. Essas fontes estão envolvidas em grande parte dos acidentes radiológicos ocorridos nas últimas décadas. O acidente de Goiânia [1] é o mais conhecido, pela repercussão que teve nos meios de comunicação, mas dezenas de outros têm ocorrido, com impactos variados no meio ambiente e na saúde das pessoas afetadas.

Estimativas sobre a frequência de extravio intencional ou acidental de fontes seladas variam entre diferentes metodologias de levantamento de dados. Entre 1960 e 1991, a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) contabilizou mais de 100 acidentes com irradiação significativa de indivíduos do público, os quais resultaram na morte de 19 pessoas [2]. BELLIAN e JOHNSTON [3] relatam entre 1983 e 1993, 299 ocorrências envolvendo fontes seladas que foram encontradas em sucata metálica destinada a fornos de fundição. LUBENAU e YUSKO [4] informam que, nesse mesmo período, ocorreram 35 casos de contaminação de sucata que foram detectados somente depois da fundição ou da fabricação e distribuição do produto contaminado e que cerca de 300 outros acidentes foram evitados pela detecção das fontes antes que a sucata fosse carregada nos fornos. Os custos de descontaminação das fundições variou entre US\$ 50 mil e US\$ 2 milhões, sem contar a perda de materiais e equipamentos, a parada na produção industrial e a deposição dos rejeitos

radioativos gerados durante a intervenção nos acidentes [5]. Na República da Geórgia, ex União Soviética, cerca de 300 fontes extraviadas foram encontradas na última década, algumas delas, após terem irradiado severamente pessoas do público, motivando a formação de grupos internacionais de especialistas para auxiliar na busca e recuperação de outras que possam ainda estar perdidas [6].

Esses dispositivos têm uma vida útil que varia de poucos anos até algumas dezenas de anos e, em quase todos os casos, ainda têm radioatividade suficiente para causar efeitos nocivos à saúde quando retirados de serviço. Ao serem descartados, tornam-se rejeito radioativo que precisa de gestão especializada. Formam, porém, uma classe de rejeitos que, apesar de ser ubíqua no mundo todo, tem sido negligenciada. As fontes seladas começaram a ser objeto de preocupação há menos de uma década somente. Nos países em desenvolvimento, sem infra-estrutura adequada de segurança radiológica, assim como na maioria dos países da Europa, faltam instalações para deposição das fontes e resta, como única opção, o armazenamento temporário [7]. Até mesmo nos EUA, país líder em tecnologia nuclear, a solução para deposição definitiva de alguns tipos de fontes seladas [8] estava, até recentemente, sendo adiada.

No início da década passada, o IAEA, reconhecendo a dimensão do problema, iniciou um programa para dar assistência aos países em desenvolvimento em seus esforços para evitar as situações que poderiam resultar em acidentes radiológicos [9]. O IAEA propôs que as fontes mais perigosas sejam guardadas por algumas décadas em armazéns centralizados nos países de origem e, depois, transferidas para os países desenvolvidos e depositadas nos repositórios para rejeitos radioativos de atividade alta, quando estes estiverem operacionais [10].

Mesmo considerando que esses repositórios estejam disponíveis dentro de poucas décadas nos países desenvolvidos, não se pode deixar de notar que existe grande oposição pública a eles e é fácil prever que a transferência dos rejeitos radioativos de vários países, para deposição nesses repositórios, enfrentará dificuldades talvez intransponíveis. A síndrome de “NIMBY” (abreviação da expressão inglesa “not in my backyard” – não no meu quintal), que torna a transferência de rejeitos de uma unidade geográfica para outra dentro de um mesmo país um problema intratável, certamente será mais acentuada em relação à importação de rejeitos radioativos de outros países.

Portanto, para minimizar o risco de acidentes envolvendo as fontes seladas, para salvaguardar as futuras gerações e para que os encargos relativos à manutenção de sua segurança não lhes sejam deixados de herança, a deposição imediata das fontes descartadas como rejeito radioativo, nos próprios países usuários das fontes, é uma alternativa que precisa ser buscada. Essa solução para as fontes seladas existentes no Brasil é o objeto deste estudo.

II. INVENTÁRIO DE FONTES NO BRASIL

Um levantamento nos bancos de dados disponíveis indicam a existência de 400.000 fontes seladas no Brasil, perfazendo uma atividade total da ordem de $3,4 \times 10^{16}$ Bq, uma parte das quais já foi recolhida como rejeito radioativo. Na tabela 1 estão indicados o número de fontes e a atividade total para cada radionuclídeo do inventário.

TABELA 1 – Inventário de fontes seladas no Brasil. [11]

GRUPO DE FONTES	NÚMERO DE FONTES	ATIVIDADE TOTAL (Bq)
^{60}Co	202.306	$3,34 \times 10^{16}$
^{85}Kr	440	$4,93 \times 10^{12}$
^{90}Sr	846	$1,82 \times 10^{12}$
^{137}Cs	6.153	$3,27 \times 10^{14}$
^{226}Ra	4.095	$1,29 \times 10^{12}$
^{241}Am	172.636	$1,35 \times 10^{13}$
$^{241}\text{Am-Be}$	319	$4,16 \times 10^{13}$
$^3\text{H}, ^{55}\text{Fe}, ^{133}\text{Ba}$	35520	$1,03 \times 10^{12}$
$^{147}\text{Pm}, ^{244}\text{Cm}, ^{252}\text{Cf}$	241	$9,24 \times 10^{12}$
$^{63}\text{Ni}, ^{226}\text{Ra-Be}, ^{238}\text{Pu}, ^{238}\text{Pu-Be}$	311	$2,91 \times 10^{12}$
TOTAIS	422.867	$3,38 \times 10^{16}$

Nesses valores, estão incluídas 200.000 varetas de ^{60}Co de um irradiador de grande porte, as fontes de 78.000 pára-raios com ^{241}Am e 35.000 centelhadores contendo trítio.

Destaque-se, também, que uma avaliação do mercado de fontes seladas indica que a maioria das aplicações correntes tende a manter-se competitiva, num mercado em expansão e que haverá demanda pelo serviço de gestão desses rejeitos, por várias décadas ainda, à medida que essas fontes sejam postas fora de serviço.

III. ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO

O destino dessas fontes, quando retiradas de serviço é o tratamento como rejeito radioativo, embora a reciclagem ou o reaproveitamento tenham sido aventados.

A segunda alternativa tem aplicação limitada a alguns poucos tipos de fontes em situações especiais. Além disso, não representa uma solução definitiva para a destinação da maioria das fontes retiradas de serviço, pois a meia-vida é superior ao tempo concebível de reutilização, de forma que, no final, todas acabarão ingressando no sistema de tratamento de rejeitos radioativos.

Portanto, a alternativa de deposição como rejeito radioativo é inescapável para a maioria das fontes. As opções de deposição final são: a) depositar as fontes em um repositórios de superfície a ser construído pela CNEN; b) manter as fontes em depósitos temporários até que estejam disponíveis repositórios profundos nos países desenvolvidos e depois transferir as fontes para esses repositórios, de acordo com proposta da IAEA; c) manter as fontes em depósitos temporários para depositá-las em um repositório profundo, junto com rejeitos de atividade alta no próprio país, o que não tem previsão para ocorrer.

As duas últimas opções devem ser descartadas porque adiam a solução do problema por várias décadas, com o ônus decorrente de legar um problema para as futuras gerações.

Em relação à primeira opção, observa-se, pela metodologia desenvolvida neste trabalho, que uma fração significativa do inventário de fontes é inaceitável em um repositório de superfície. A metodologia consiste em calcular a dose individual de radiação resultante de intrusão humana em um repositório de superfície no qual tenha sido depositada a fonte e comparar essa dose com os limites regulamentares. Os cenários de exposição podem ser irradiação externa, ingestão ou inalação da substância radioativa contida nas fontes, cenários esses possíveis, tendo em vista os exemplos de acidentes reais com fontes seladas. Na tabela 2, está indicado a fração do inventário que seria recusada em um repositório de superfície, de acordo com um cenário de exposição externa, após 100 anos de controle institucional no repositório. Estão indicados os números de fontes e as atividades totais, com as respectivas frações em relação ao inventário brasileiro.

Falta, portanto, uma quarta alternativa que tenha o mérito de resolver o problema de forma completa e imediata.

TABELA 2 - Fontes seladas do inventário brasileiro recusadas em um repositório de superfície, em um cenário de exposição externa, após 100 anos de controle institucional.

	Atividade total (Bq)	%	Número de fontes	%
³⁶ Cl	1,5x10 ⁸	100	13	100
⁶⁰ Co	3,3x10 ¹⁶	100	201495	100
⁸⁵ Kr	4,9x10 ¹²	100	373	85
⁹⁰ Sr	1,6x10 ¹²	86	195	23
¹³⁷ Cs	3,3x10 ¹⁴	100	6054	98
¹³³ Ba	8,8x10 ⁸	84	3	11
¹⁵² Eu	3,9x10 ⁸	100	1	25
²²⁶ Ra	1,3x10 ¹²	100	4094	100
²²⁶ RaBe	1,0x10 ¹⁰	100	13	100
²³⁸ Pu	8,2x10 ¹¹	100	16	100
²³⁸ PuBe	1,6x10 ¹²	100	1	100
²⁴¹ Am	1,4x10 ¹³	100	99652	57
²⁴¹ AmBe	4,1x10 ¹³	100	312	98
²⁴⁴ Cm	2,0x10 ¹¹	100	16	100
Totais	3,34x10¹⁶	99	312238	74

IV. REPOSITÓRIO EXCLUSIVO PARA FONTES

Propõe-se, para a gestão das fontes seladas no Brasil, construir um repositório exclusivo para todas fontes. Ainda que uma parte do inventário possa ser depositado em um repositório de superfície, os custos de construção do repositório exclusivo serão pouco afetados pela decisão de depositar todas as fontes no mesmo local. Essa alternativa tem também a vantagem de facilitar a gestão global do problema, criando uma única via de tratamento para todos os rejeitos dessa categoria.

O repositório proposto é um poço tubular penetrando em uma formação geológica profunda. O delineamento do repositório está apresentado na figura 1. Esse repositório é constituído de um poço revestido com uma camisa de aço e cimentado no espaço anular entre o tubo de revestimento e a formação geológica. As tecnologias de perfuração, revestimento e cimentação do poço estão disponíveis comercialmente e a execução do projeto é feita de acordo com as normas e padrões utilizados em empreendimentos de exploração de recursos hídricos.

O conceito desenvolvido não é específico para um local determinado e o perfil geológico do local é somente ilustrativo. A profundidade do poço foi estabelecida localizando-se a parte útil do repositório, para a colocação do rejeito, no embasamento cristalino, abaixo da zona fraturada e alterada, que neste exemplo está além dos 200 metros de profundidade, num batólito de granito.

A zona de deposição tem 100 metros de altura, a partir do fundo, e é suficiente para a deposição do inventário atual de fontes do país. Acima da zona de deposição está a zona de isolamento do repositório, constituído de uma parte localizada ainda no batólito granítico, com 100 metros de altura, e outra zona que vai até a superfície, com camadas estratigráficas variadas.

Após o período de operação em que as fontes podem ser resgatadas, o poço é selado definitivamente com concreto, desde o topo da última embalagem até a superfície, criando uma barreira à dispersão das substâncias radioativas depositadas e à intrusão humana, seja intencional, seja inadvertida.

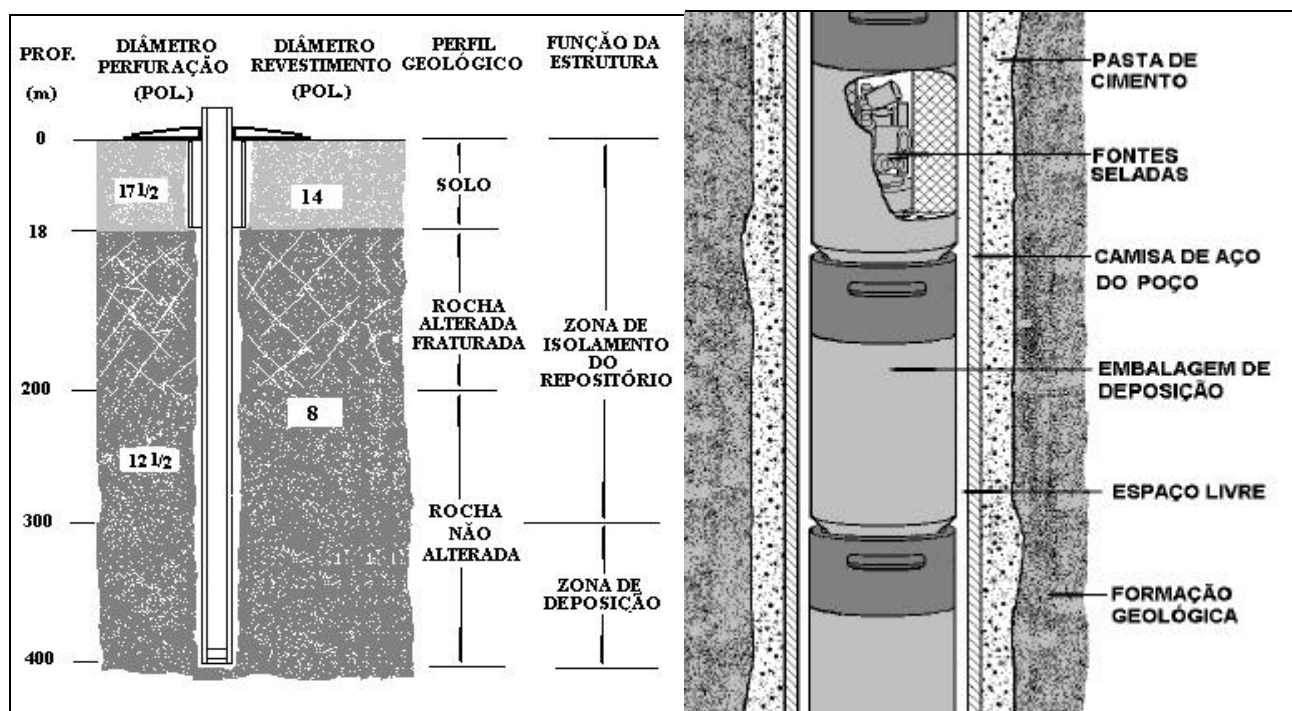


Figura 1. Delineamento do repositório proposto e ilustração do método de deposição das fontes.

V. ANÁLISE CRÍTICA DA PROPOSTA

A proposta de repositório deve ser analisada segundo os seguintes aspectos: 1) Estratégia de gestão – para avaliar o acerto em gerenciar as fontes separadamente de outros rejeitos e em fazer sua deposição definitiva imediata; 2) Aspectos técnicos, econômicos e de desempenho radiológico – para analisar as questões da disponibilidade e custo da tecnologia de deposição e da adequação do sistema sob o aspecto de segurança.

Ainda que a falta de alternativas de deposição afete somente uma parcela das fontes seladas, duas características peculiares favorecem a opção por uma gestão de todo o inventário, de forma independente dos outros rejeitos: o volume reduzido e a concentração elevada de atividade.

As fontes seladas inventariadas neste trabalho apresentam um volume aparente estimado em 300 dm³, aproximadamente. Esse volume é uma fração insignificante do volume dos outros rejeitos institucionais produzidos no país. Contudo, a sua atividade total excede ao limite de atividade de um repositório de superfície típico. A título de exemplo, compare-se a atividade total do inventário brasileiro de fontes, que está estimada em 3,38x10¹⁶ Bq, com o limite de atividade total no repositório espanhol de El Cabril, que é 2,8x10¹⁶ Bq [12]. A atividade das fontes emissoras de partículas alfa do inventário brasileiro, 6,04x10¹³ Bq, também excede o limite de atividade dos emissores alfa naquele repositório, que é de 2,7x10¹³ Bq.

A alternativa de deixar as fontes em armazém até que estejam disponíveis repositórios profundos para os rejeitos de atividade alta no país ou no exterior é adiar a solução para daqui a algumas décadas, enquanto crescem a quantidade armazenada e os riscos associados.

Com relação à viabilidade de construção e operação de um repositório exclusivo para as fontes, nossos estudos indicam que a tecnologia de perfuração, revestimento e acabamento do poço é comum no país e que o custo de construção da instalação rivaliza com o custo de construção de uma instalação para armazenamento temporário das fontes. A título de ilustração, a perfuração e o acabamento do poço mostrado na figura 1 foram orçados em cerca de US\$ 100.000. Os estudos indicam também que o custo unitário de deposição é uma fração do preço de uma fonte nova e, por isso, a taxa de deposição a ser cobrada dos usuários não inviabiliza ou desincentiva a aplicação tecnológica das fontes seladas.

Por fim, uma verificação dos requisitos de segurança radiológica estabelecidos por organismos como a Comissão Internacional de Proteção Radiológica e a Agência Internacional de Energia Atômica mostra que o conceito de repositório proposto tem todas as características necessárias para ser aceito como alternativa adequada e viável para a deposição das fontes seladas descartadas como rejeito radioativo no Brasil. No conceito do repositório aplica-se o princípio de barreiras múltiplas, os materiais empregados na sua construção são resistentes e duráveis e os rejeitos deverão ser colocados em um meio geológico estável e profundo, provendo uma barreira

extensa contra a intrusão e contra a dispersão dos radionuclídeos presentes nas fontes.

REFERÊNCIAS

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **The radiological accident in Goiania**. IAEA, Vienna, 1988.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Nature and magnitude of the problem of spent radiation sources**. Vienna: IAEA, 1991. (IAEA-TECDOC-620.).
- [3] BELLIAN, J.C.; JOHNSTON, J.G. Developing methods for detecting radioactive scrap. *In: ASSOCIATION OF IRON AND STEEL ENGINEERS ANNUAL CONVENTION*, 25-28 Sept. 1995, Pittsburgh. **Proceedings ...** [S.l]: Iron & Steel Engineers, 1995 (CONF-9509197).
- [4] LUBENAU, J.O.; YUSKO, J.G. Radioactive materials in recycled metals. **Health Physics**, v. 68, n. 4, p. 440-451, 1995
- [5] BELLIAN, J.G. **Radioactive material in scrap metal - its frequency, consequences, and detection**. Solon, Ohio: Harshaw/Bicron, 1993.
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. IAEA Daily Press Review nº 17, February 01, 2002. IAEA, Vienna, 2002. Disponível em: <http://www.iaea.org/worldatom/Press/P_release/> Acesso em: 08/02/2002.
- [7] WELLS, D. A.; ANGUS, M. J.; CECILLE, L. Management and disposal of disused sealed radioactive sources in Europe. *In: International Conference on Management of Radioactive Waste from Non-Power Applications – Sharing Experience. St. Paul's Bay (Malta), 5 – 9 Nov. 2001. Book of extended synopses*. IAEA, Vienna, 2001. p. 98-99. Resumo no INIS Database: <http://inisdb.iaea.org/inis/>.
- [8] UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. **Strategy for management and disposal of Greater-than-class C Low Level Radioactive Waste – Notice of Inquiry**. Carson City: State of Nevada Nuclear Waste Project Office. 1995. Disponível em: <www.state.nv.us/nuc_waste/gtcc/gtcnotic.htm> Acesso em: Nov. 11, 2001.
- [9] PETERSSON, B.G. Improving the management of spent radiation sources. **IAEA Bulletin**, Vienna, v. 34, n. 3, p. 19-23, 1992
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Nature and magnitude of the problem of spent radiation sources**. Vienna: IAEA, 1991. (IAEA-TECDOC-620.).
- [11] VICENTE, R. **Gestão de fontes radioativas seladas descartadas**. Tese de Doutorado. IPEN, São Paulo, 2002.

[12] RUIZ, M.C.; ALONSO, J.A. Safety aspects related to the operation of the Cabril L/LLW disposal facility. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUCLEAR WASTE MANAGEMENT AND ENVIRONMENTAL REMEDIATION, Sept. 5-11, 1993, Praga. Proceedings, Vol. 3.* New York: American Society of Mechanical Engineers, 1993. p. 559-564.

ABSTRACT

The number of sealed radiation sources used in industrial, medical, and research applications in Brazil amounts to hundreds of thousands. Spent or disused sources are being collected and stored as radioactive waste in nuclear research centers, awaiting for a decision on their final disposal. However, a safe and economically feasible disposal technology is unavailable. The aim of this paper is to report the development of the concept of a repository and a treatment process that will allow the final disposal of all the spent sealed sources in a safe, dedicated, and exclusive repository. The concept of the disposal system is a deep borehole in stable geologic media, meeting the radiological performance standards and safety requirements set by international organizations.