

INSTALAÇÃO DE REPOSITÓRIOS DE SUBSUPERFÍCIE PARA REJEITOS
RADIOATIVOS
REQUISITOS PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

Rosane N. Raduan e Bárbara M. Rzycki

*Comissão Nacional de Energia Nuclear
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Travessa R. 400, Cidade Universitária
05508-900 - São Paulo - SP, Brasil*

Resumo

O confinamento de rejeitos radioativos de nível baixo e intermediário, é prática conhecida há quatro décadas. Os rejeitos dispostos em repositórios de subsuperfície (shallow ground disposal) originam-se nas atividades do ciclo do combustível nuclear e em aplicações de radioisótopos na medicina, indústria, pesquisa e ensino e outras atividades. A escolha de locais adequados para a instalação de repositórios, baseia-se na análise criteriosa de uma série de requisitos de avaliação do impacto ambiental, que permitem, junto com os parâmetros físico-químicos do rejeito radioativo imobilizado e embalado, efetivar esta escolha. O presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo geral dos tópicos principais que fazem parte da avaliação do impacto ambiental resultante da deposição controlada de embalados com rejeitos radioativos.

Abstract

Low and intermediate - level radioactive waste confinement have been a well known practice for about four decades. Wastes disposal in shallow ground repositories are originated in the nuclear fuel cycle and the application of isotopes in medicine, industry, research and education and other activities. An adequate choice of locals for repositories constructions is based on a criterious analysis of a series of requirements of the environmental impact. This analysis allows, together with the immobilized and packed radioactive wastes, physical and chemical parameters to carry out this choice. The main objective of this work is to have an overview of principal topics that allows an environmental impact analysis resulting from a controlled radioactive waste package disposal.

1. Introdução

A implantação de qualquer empreendimento produz efeitos no meio ambiente, que são denominados genericamente de impacto ambiental.

No Brasil, a preocupação legal com o meio ambiente, teve seu ponto máximo em 1986 com a aprovação pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, da Resolução nº 001 de 23/01/86, publicada no Diário Oficial da União em 17/02/86, regulamentando o instrumento de controle ambiental, estabelecendo as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação

da avaliação de impacto ambiental, como um dos instrumentos da política nacional do meio ambiente.

Com base nessa resolução, considera-se impacto ambiental "qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam:

- I A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II As atividades sociais e econômicas;
- III A biota;
- IV As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V A qualidade dos recursos ambientais."

Com a crescente demanda energética, a humanidade se viu obrigada a explorar as fontes potenciais de energia como o gás natural, carvão mineral, petróleo, recursos hídricos e, ultimamente a energia nuclear que, como as outras, também causa efeitos adversos ao meio ambiente.

Os aspectos ambientais relativos a usinas nucleares e às instalações associadas ao ciclo do combustível nuclear, não são muito diferentes de qualquer outro grande empreendimento industrial. Entretanto os materiais radioativos produzidos, principalmente aqueles gerados durante a operação de reatores nucleares, devem ser estritamente controlados, objetivando proteger a saúde humana e o meio ambiente.

O aspecto principal a ser considerado, é o destino do material radioativo que não é reciclado para outros usos. Esse material é denominado *rejeito radioativo* e tem um destino final, que é a deposição controlada no meio ambiente, dependendo de sua classificação.

A deposição no meio ambiente pode ser feita de várias maneiras, dependendo do nível de atividade, da meia-vida dos radionuclídeos contidos no rejeito, e da forma de condicionamento do rejeito.

As formas mais comuns de deposição são as subterrâneas em poços profundos ou minas abandonadas, as superficiais ou subsuperficiais (shallow ground) e a deposição marinha, que vinha sendo feita nos mares do norte e que está proibida desde 1983 pela Convenção de Londres (London Dumping Convention).

O objeto de estudo deste trabalho é a deposição subsuperficial, apropriada para rejeitos sólidos ou solidificados de baixa e média atividade, contendo radionuclídeos de meia-vida curta.

2. Considerações Básicas sobre a Deposição Subsuperficial

A deposição de rejeitos radioativos na subsuperfície do solo, tem sido praticada há algumas décadas em vários países por exemplo a França, Estados Unidos e Inglaterra, utilizando-se procedimentos variados para diferentes tipos e quantidades de rejeitos radioativos. Esta experiência passada, forneceu informações valiosas que podem servir para práticas futuras e mostrar que a deposição subsuperficial pode oferecer um isolamento adequado entre o rejeito e o meio ambiente, por períodos razoáveis de tempo /1/.

Um repositório de subsuperfície deve satisfazer duas funções importantes:

(1) Limitar a dispersão dos radionuclídeos contidos no rejeito, de modo que os limites permissíveis para o meio ambiente não sejam excedidos;

(2) Proteger o rejeito dos processos naturais de deterioração como erosão, penetração de raízes profundas, escavações feitas por animais e a intrusão humana.

Os fatores básicos, que devem ser considerados para se obter um sistema de deposição adequado, são a quantidade e natureza do rejeito, as características do sítio escolhido para a implantação do repositório e os aperfeiçoamentos de engenharia necessários (características de projeto civil). Estes fatores básicos, se atendidos, resultam em maior eficiência no controle dos mecanismos de liberação de radionuclídeos, que são característicos de um sítio de deposição específico, podendo ocorrer ou não.

A transferência de radionuclídeos do repositório para o meio ambiente pode se processar de várias maneiras e o impacto ambiental, neste caso, é avaliado pelo impacto radiológico no homem e nas espécies vegetais e animais, através de danos biológicos que podem ser induzidos com a assimilação dos mesmos.

Os principais mecanismos de transferência, de acordo com a literatura /2/, são:

(1) Exposição e transporte superficial (via solo) de radionuclídeos pelos processos normais de erosão (água e ventos);

(2) Transporte de radionuclídeos dissolvidos pela água subterrânea às fontes de água potável, rios, etc;

(3) Transporte de radionuclídeos dissolvidos na camada superior do solo por fluxo capilar, seguido de incorporação pelas plantas;

(4) Transporte de radionuclídeos por meio de gases gerados pela redução bacteriológica de material orgânico contido no rejeito e nas embalagens;

(5) Dispersão de radionuclídeos provocada pela intrusão de animais ou plantas com raízes profundas;

(6) Intrusão do homem e

(7) Acidentes durante o manuseio de embalados ou durante as operações de deposição.

3. O Rejeito Radioativo

Os rejeitos radioativos são gerados no ciclo do combustível nuclear, em aplicações de material radioativo em indústrias, agricultura, aplicações médicas, pesquisa e ensino. Os volumes de rejeitos gerados no ciclo do combustível nuclear são consideravelmente maiores.

Os rejeitos que podem ser estocados nos repositórios de subsuperfície são os de nível de atividade baixo ou intermediário, contendo radionuclídeos de meia-vida curta, menor que 30,2 anos.

A Tabela I fornece os limites que permitem classificar os rejeitos de nível de atividade baixo ou intermediário, de acordo com a norma CNEN-NE-6.05 /3/.

Os rejeitos radioativos podem estar na fase sólida, líquida ou gasosa e precisam ser transformados para uma forma não dispersível. Os gases são encapsulados ou fixados em materiais sólidos. Os rejeitos líquidos ou sólidos são imobilizados em matrizes de cimento, betume, polímeros, etc. O tipo de embalagem e a quantidade de rejeitos por embalado dependem da atividade dos radionuclídeos presentes, da concentração radioativa no rejeito, da meia-vida radioativa e dos limites estabelecidos pelas normas de transporte de material radioativo.

Tabela I - Classificação dos rejeitos radioativos de nível baixo e intermediário com eventuais emissores α em concentração inferior a $3,7 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3$ /3/.

Categoria	Taxa de Exposição ($\dot{X}$) na Superfície ($\mu\text{C/Kg.h}$)	Concentração (C) (Bq/m^3)		
		Sólidos	Líquidos	Gasosos
Nível Baixo de Atividade	$X \leq 50$		$C < 3,7 \times 10^{10}$	$C \leq 3,7$
Nível Intermediário de Atividade	$50 < X \leq 500$		$3,7 \times 10^{10}$	$3,7 < C \leq 3,7 \times 10^4$

4. Características do Sítio e do Repositório

No passado, a prática usual em muitos países, notadamente nos Estados Unidos e Inglaterra, era enterrar o rejeito radioativo de atividade baixa em trincheiras ou valas simples, diretamente no solo /4/.

Atualmente a escolha dos locais potenciais para a instalação de repositórios para rejeitos radioativos, em sítios com aspectos ambientais favoráveis, é muito rigorosa. Um sítio promissor para a deposição subsuperficial deve ser selecionado considerando quatro fatores fundamentais, que são:

- (1) Hidrogeologia,
- (2) Ecologia,
- (3) Uso do solo e
- (4) Fatores sócio-econômicos.

Os dois primeiros fatores descrevem as condições ambientais naturais que são relativamente estáveis, enquanto que os dois últimos são fatores mutáveis por decisões legais ou mudanças no estilo de vida da comunidade ali presente.

O estudo destes fatores indica os parâmetros considerados críticos, que podem limitar ou impedir a utilização de um determinado sítio para a construção do repositório e indicar as necessidades reais de se implementar a segurança do repositório, com barreiras artificiais de contenção /2/.

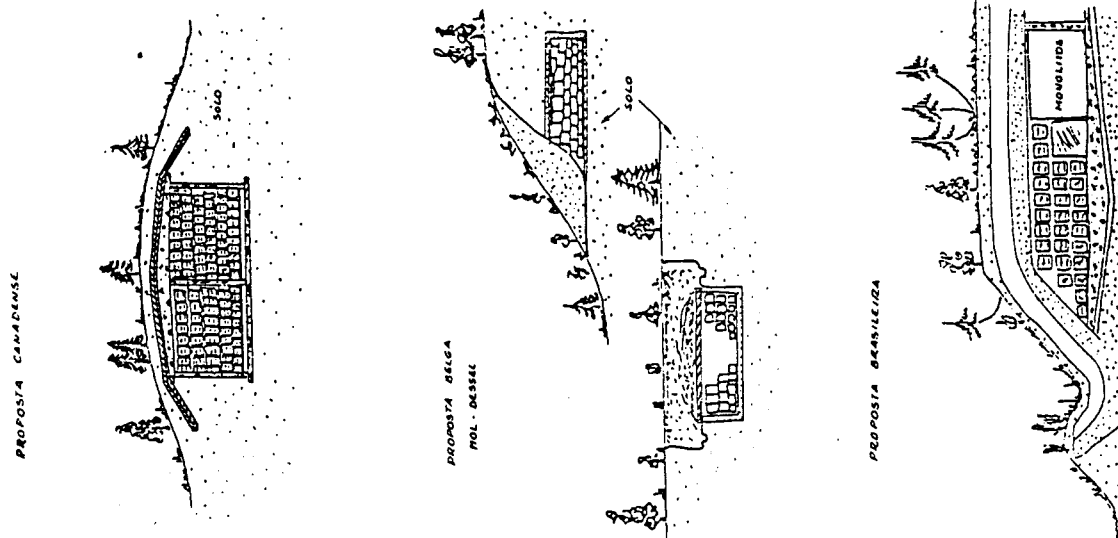
Basicamente, são aplicadas três barreiras de engenharia que se somam às características ambientais do local e do rejeito estocado, que são:

- (1) Utilizar como cobertura materiais com baixa permeabilidade, para minimizar a intrusão de água;
- (2) Construção de um sistema de drenagem e desvio para conduzir a água superficial e de chuva para fora do repositório; e
- (3) Vedar o piso do repositório com materiais que apresentem permeabilidade baixa.

Os materiais mais usados para construir as barreiras artificiais são o concreto, argila, materiais betuminosos, etc. O repositório pode ser protegido dos processos erosivos, plantando-se espécies vegetais com raízes que mantenham o solo circunvizinho íntegro.

As ilustrações apresentadas na Figura 1, representam, de maneira simplificada, os tipos de repositórios de subsuperfície propostos por alguns países.

Figura 1 - Tipos de repositórios de subsuperfície



5. Avaliação do Impacto Ambiental

O objetivo principal a ser atingido quando é construído um repositório para rejeitos radioativos, visando minimizar os efeitos adversos sobre o homem e seu meio ambiente, é o isolamento adequado entre o rejeito e a biosfera. Este isolamento deve durar o tempo necessário para que a atividade total ali contida, decaia até os níveis que estejam próximos da radiação de fundo.

Durante todo o período de deposição dos rejeitos no repositório, pode ocorrer lixiviação de alguns radionuclídeos solúveis para fora da contenção atingindo o meio ambiente. Os mecanismos de transferência, seja por dispersão ou por reconcentração, ocorrem imediatamente. Estes mecanismos dependem do tipo e da forma físico-química do radionuclídeo, das características ambientais por exemplo: tipo de solo, comportamento da água superficial e subterrânea, incluindo parâmetros físicos e químicos, fauna e flora, climatologia e uso e ocupação dos solos.

Todos os tópicos citados para a avaliação do impacto ambiental resultam do comportamento complexo dos radionuclídeos no meio ambiente, levando a analisar os mecanismos de transferência nos diferentes meios.

Considerando que o repositório de subsuperfície é construído no meio ambiente terrestre, os parâmetros principais para o estudo do impacto ambiental devem cobrir inteiramente os mecanismos de transferência implícitos neste meio, que se resumem em:

1. Fatores Físicos

- textura do solo - a granulometria do solo influi na assimilação de certos radionuclídeos, sendo diferente entre os solos argilosos, arenosos, argilo-siltosos e siltosos;

- estrutura dos solos - a estrutura dos solos influencia diretamente na capacidade de permeabilidade e lixiviação dos radionuclídeos, sendo que um solo compacto favorece as trocas comparando-se com um solo arenoso que propicia a lixiviação;

2. Fatores Químicos

- pH - o pH atua na fixação e migração dos radionuclídeos e indica sob que forma e em quais condições se efetua a transferência dos mesmos;

- teor de óxidos - alguns óxidos presentes nos solos podem adsorver radionuclídeos e insolubilizar compostos orgânicos pseudo-solúveis que transportam minerais sob a forma de complexos;

- calcário - o calcário é importante na fixação e migração dos radionuclídeos porque aumenta o pH do solo e satura os complexos absorvedores com cálcio, embora possa insolubilizar vários radionuclídeos.

3. Fatores Biológicos e Bioquímicos

- microbiologia - a atividade biológica do solo constitui um fator de evolução muito importante, pois contribui para a formação do húmus, alterando o pH do solo, além de favorecer a migração dos radionuclídeos, que neste caso, pode ocorrer por acumulação nos microorganismos;
- matéria orgânica - a matéria orgânica influi na fixação e na transformação dos radionuclídeos e na sua migração.

4. Fatores Externos

- forma química do radionuclídeo - tem influência na interação com o solo, onde a presença de matéria orgânica, microflora e tipo de solo (teor de argilas), pode resultar numa transferência com maior ou menor velocidade;
- condições climáticas - a migração de radionuclídeos depende da temperatura, pluviometria, relevo, etc. Pode-se dar por ação direta isto é lixiviação em condições pluviométricas intensas ou pela ação indireta sob influência de fatores internos como o teor de umidade do solo, formas químicas, compostos orgânicos em decomposição, etc;
- agricultura - os vegetais cultivados podem ser contaminados pelas raízes ou folhas, considerando que os radionuclídeos podem estar dissolvidos na água do solo ou pelo método de irrigação empregado.

O comportamento dos radionuclídeos no meio ambiente terrestre pode ser identificado somente com o conhecimento desses parâmetros, que variam de acordo com as diferentes características ambientais do sítio onde será implantado o repositório de subsuperfície para a deposição de rejeitos radioativos.

6. Referências Bibliográficas

- 1/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Design, Construction, Operation, Shutdown and Surveillance of Repositories for Solid Radioactive Wastes in Shallow Ground. Safety Series no. 63, IAEA, Vienna (1984).
- 2/ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Shallow Ground Disposal of Radioactive Wastes - A Guidebook. Safety Series no. 53, Vienna (1981).
- 3/ COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radioativas. CNEN-NE-6.05, Rio de Janeiro (1985).
- 4/ ROBERTS, L. E. J.. Radioactive Waste Management. *Ann. Rev. Nucl. Sci.* 1990.40: 79-112.