



MCT - Ministério da Ciência e Ensino Superior

INSTITUTO TECNOLÓGICO E NUCLEAR

Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Relatório DPRSN-A, nº 24/2002

**Objectivos de Protecção Radiológica a
Atingir com a Remediação Ambiental
nas Antigas Minas de Urânio**

Fernando P. Carvalho

*Comunicação apresentada nas
IX Jornadas da Sociedade Portuguesa de Protecção Contra Radiações
realizadas em Lisboa,
Instituto Português de Oncologia de Francisco Gentil,
21 e 22 de Novembro de 2002*

Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Director: Fernando Piedade Carvalho
Endereço: Estrada Nacional 10, 2686-953 Sacavém, Portugal
Telefone: +351 - 21 994.60.00
Fax: +351 - 21 994.19.95
e-mail: dprsn@itn.pt
Pág. web <http://www.itn.pt>

Ficha Técnica

Título	Objectivos de Protecção Radiológica a Atingir com a Remediação Ambiental nas Antigas Minas de Urânio.
Autoria	Fernando P. Carvalho
Edição	Instituto Tecnológico e Nuclear Dep. Protecção Radiológica e Segurança Nuclear
Tiragem	50 exemplares
ISBN	972-8660-25-1
Depósito Legal	189584/02
Data da Edição	Novembro de 2002
Responsável pela edição	M ^a Luísa Pedro

OBJECTIVOS DE PROTECÇÃO RADIOLÓGICA A ATINGIR COM A REMEDIAÇÃO AMBIENTAL NAS ANTIGAS MINAS DE URÂNIO

*Fernando P. Carvalho
Instituto Tecnológico e Nuclear,
Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear
EN 10, 2686-953 SACAVÉM*

Sumário

A exploração de minérios urano-radíferos em Portugal realizou-se durante cerca de 90 anos. Terminada a exploração de urânio, existem poucos sítios mineiros que tenham sido correctamente encerrados. Na maioria dos 56 sítios explorados existem crateras, escombreliras de inertes e de minérios pobres em superfície, resíduos do tratamento químico, várias instalações obsoletas e contaminadas pelo urânio, e algumas minas com auréolas de contaminação causadas pelo uso de ácido sulfúrico em lixiviação "in situ". Embora muitos dos locais de antigas minas sejam de pequena dimensão, existem vários locais com escombreliras volumosas, contendo materiais muito radioactivos e com potencial para causar uma significativa contaminação regional e originar exposição adicional de elementos do público acima dos limites de dose de radiação fixados pela União Europeia, i.e., 1 mSv/ano (Directiva 96/29 EURATOM).

A remediação ambiental dos antigos sítios mineiros, incluindo as instalações de tratamento químico dos minérios urano-radíferos, deve ser efectuada para garantir que os resíduos não constituirão uma fonte de exposição da população a doses suplementares de radiações ionizantes, quer na actualidade quer no futuro. Ou seja, os trabalhos a realizar devem garantir que os terrenos e instalações devolvidos ao uso público não estão contaminados e que podem ser usados para outros fins, que as escombreliras e instalações contaminadas são confinadas para não serem focos de contaminação radioactiva ambiental, e que o condicionamento e remediação dos sítios é tal que, por todas as vias de exposição, não resulte para os grupos da população mais próximos uma dose de radiação adicional superior a 1 mSv/ano.

Neste domínio, a experiência de países da Europa Ocidental demonstra a viabilidade de algumas soluções, simples mas adequadas, para permitir devolver muitos dos sítios ao uso público. Por outro lado, os sítios mais contaminados devem permanecer fechados ao público apesar do confinamento e de outras medidas adoptadas. Sítios com águas subterrâneas ácidas e contaminadas exigem, frequentemente, a instalação de ETARs dedicadas, com recuperação e tratamento químico dos efluentes líquidos antes de devolver as águas residuais tratadas ao ciclo hidrológico.

Igualmente, as experiências encetadas há vários anos em sítios semelhantes aos do caso Português, mostram que a caracterização prévia dos resíduos e dos locais mineiros, a boa engenharia das soluções de remediação e a vigilância radiológica post-remediação são essenciais para o sucesso das soluções e para assegurar a protecção radiológica do homem e do ambiente. Neste processo a informação e demonstração prestada às entidades locais e à população sobre o trabalho efectuado é parte essencial da construção da confiança do público no controlo dos efeitos nocivos dos resíduos radioactivos e das radiações ionizantes.

Palavras-chave: minas de urânio, escombrelras, contaminação radioactiva do ambiente, dose para população, reabilitação ambiental.

1. Introdução

A extracção e o tratamento de minérios urano-radíferos em Portugal estenderam-se por um período de cerca de 90 anos. Durante esse período foram extraídas cerca de 4,4 mil toneladas de óxido de urânio e gerados efluentes líquidos e resíduos sólidos, incluindo os resíduos da extracção e os resíduos do tratamento químico do minério.

Os resíduos sólidos de extracção incluem os minérios pobres, geralmente deixados no local, que contêm os radioanuclidos das famílias do urânio e do tório em concentrações moderadas. Os resíduos do tratamento químico do minério de urânio contêm os descendentes das famílias do urânio (^{238}U), do actínio (^{235}U) e, em menor concentração, do tório (^{232}Th). Por que se trata de resíduos da exploração do urânio, a concentração do urânio é mais baixa que no minério original, mas as concentrações dos seus descendentes, como o ^{226}Ra , ^{210}Pb e ^{210}Po são idênticas, ou até mais elevadas, que no minério inicial. As lamas resultantes do tratamento de neutralização das águas ácidas das galerias, contêm também concentrações elevadas de vários radioelementos, pelo que do ponto de vista radiológico podem ser considerados juntamente com os resíduos do tratamento químico do minério.

A exploração de urânio em Portugal decorreu a céu aberto e por desmonte subterrâneo em 56 concessões mineiras (Figura 1). Na maioria dos sítios, o minério foi retirado e transportado para as instalações de tratamento químico, pelo que naqueles locais ficaram crateras ou poços de extracção, escombreliras de inertes e, nalguns casos, escombreliras com minério pobre em superfície (Figura 2). Algumas destas escombreliras têm radioactividade elevada, mas na maioria não representam um grave problema radiológico. Pelo contrário, nos sítios em que se procedeu a tratamento químico do minério para extracção de rádio ou de urânio, os resíduos têm radioactividade muito elevada. É o caso, por exemplo, da Urgeiriça, da Quinta do Bispo, da Bica, da Senhora das Fontes e da Fábrica de Rádio do Barracão.

A empresa mineira, Empresa Nacional de Urânio (ENU-SA), terminou a produção de Urânio em Março de 2001 e foi extinta no mesmo ano, encontrando-se em fase de liquidação.

O encerramento da exploração mineira e a reposição das condições ambientais é obrigação legal da empresa concessionária. No caso das minas de urânio, o Estado Português assumiu as obrigações de reposição das condições ambientais, tendo atribuído a concessão dos trabalhos em exclusivo a uma empresa pública (Decreto-Lei 198-A/2001 de 6 de Julho). No entanto, não foram definidos em Lei, de forma explícita, os objectivos da remediação ambiental. Para definir esses objectivos, no caso das minas de urânio, importa ter em conta que o principal



Figura 1. Principais minas de urânio exploradas em Portugal.



Figura 2. Cratera mineira, escumbreira e caveleto de minas de urânio em Portugal.

impacto dos resíduos é o impacto radiológico, o que condicionará as acções de remediação a empreender. É, pois, de toda a oportunidade e urgência definir uma metodologia que permita identificar com clareza os objectivos de protecção radiológica a atingir.

O presente documento é um contributo nesse sentido.

2. Definição de uma metodologia

Para se chegar à remediação ambiental dos sítios mineiros é indispensável adoptar uma metodologia que contemple as etapas seguintes:

1º) Caracterização radiológica dos sítios e sua classificação

Trata-se de avaliar a composição radioactiva dos materiais existentes em cada sítio, caracterizá-los e avaliar o impacto radiológico sobre o ambiente e a população. Pode ser necessário avaliar também outros impactos como, por exemplo, de águas ácidas e de metais tóxicos não radioactivos.

Esta avaliação deverá permitir a classificação dos sítios e estabelecer uma distinção entre sítios sem impacto radiológico, sítios com algum impacto radiológico e sítios com elevado impacto radiológico.

Uma vez identificados os sítios sem impacto radiológico significativo, pode avançar-se para a elaboração dos projectos de engenharia para o seu encerramento. Dependendo das características dos locais, este encerramento poderá envolver a remoção de escombrelras de estéreis (materiais sem radioactividade acima do fundo radioactivo médio), o preenchimento de crateras, a reposição da paisagem, etc. Tratar-se-á, basicamente, de proceder a operações de securização e reposição paisagística simples permitindo que os sítios possam ser cedidos para outros usos. A experiência de reabilitação ambiental de antigas explorações de urânio a céu aberto noutros países, em idêntico contexto geológico, demonstra a viabilidade de soluções simples e engenhosas (Figura 3).

Identificados os sítios com algum impacto radiológico haverá que decidir se pode ser resolvido localmente, isto é, no próprio sítio mineiro, ou se requer transporte de materiais para outro sítio onde será feito o acondicionamento dos materiais radioactivos. No entanto, uma vez equacionado o problema, a sua resolução será, em princípio, simples e permitirá a reabilitação ambiental do antigo sítio mineiro eliminando-se o risco radiológico para a população. Situações semelhantes foram bem resolvidas em França, por exemplo, com a deposição de materiais fracamente contaminados e restos de demolição de instalações em antigas

Exemplos: minas sem impacto radiológico (I)

Plus mines ou stockages en exploitation ou démantées.







Eliminação de falésias

Fecho de galeria




Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Exemplos: minas sem impacto radiológico (II)

• **Anjouerie-Ouest (França)**
 Céu aberto, com lagoa, pH 5; imprópria para rega e imprópria para repovoamento faunístico. Muito transparente. Exploração feita por escola de mergulho, treino de sapadores bombeiros, etc.



• **La Commanderie (França)**
 Céu aberto, com lagoa, água de qualidade aceitável para rega; cedida a associação de agricultores para gestão da reserva de água.



• **Puy d' Âge (França)**
 Céu aberto, com lagoa, água de qualidade apropriada para repovoamento piscícola; cedida a associação de pesca desportiva para campeonatos de pesca.



Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

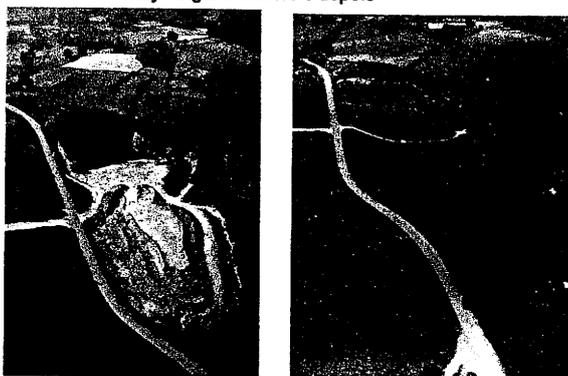
Figura 3. Casos de minas de urânio em França sem impacto radiológico significativo. Foi feita a reposição paisagística e securização do sítio, e permitido o uso como lagoas de reserva de água para irrigação, pesca ou actividades desportivas.

Exemplos: minas com impacto radiológico

Puy Teigneux: antes e depois



Desmantelamento de instalações



Le site minier de Puy Teigneux avant et après réaménagement.

- **Escombrelas com inertes e minérios pobres:** acondicionar no local, naturalizar paisagem.
- **Instalações e equipamentos contaminados:** não podem ser reutilizados. Desmantelados, transportados e acondicionados nos aterros de armazenagem de resíduos.



Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear _____

Figura 4. Minas de urânio em França em que as instalações e infra-estruturas foram desmanteladas e acondicionadas numa cratera mineira para reduzir risco radiológico para o público.

minas a céu aberto que ofereciam condições naturais de impermeabilização (Figura 4).

Identificados os sítios com elevado impacto radiológico que serão, por exemplo, os sítios em que há resíduos do tratamento químico do minério de urânio fortemente radioactivos, haverá que proceder a estudos de pormenor para fundamentar as decisões sobre o armazenamento destes resíduos em condições de segurança radiológica. Estes sítios requerem uma intervenção mais complexa para se proceder à reabilitação ambiental e, sobretudo, para que essa reabilitação seja feita em conformidade com as normas de protecção radiológica para os membros do público (Figura 5). Em França, a colocação de resíduos e lamas do tratamento químico dos minérios foi efectuada em bacias impermeabilizadas, com diversas camadas de terreno de recobertura, providas de sistemas de recuperação das águas de percolação e de pistas superficiais de drenagem para separar as águas da chuva.

As águas de percolação normalmente carregam-se de contaminantes e têm de ser tratadas antes de fluírem para as bacias hidrográficas.

2º) Planear a actuação dos sítios com impacto radiológico significativo

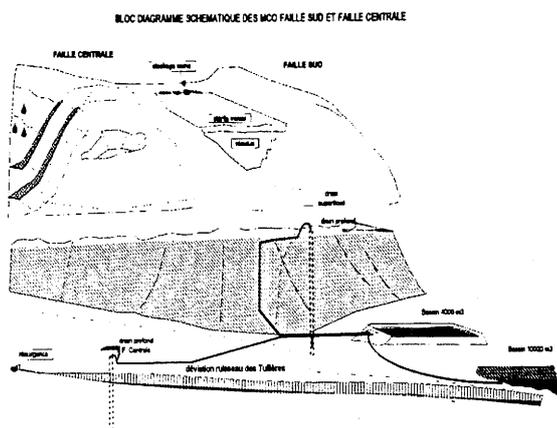
A avaliação do impacto radiológico de um sítio de armazenagem de resíduos do tratamento de minério de urânio tem por finalidade demonstrar a aptidão, ou inaptidão, do sítio para se assegurar uma protecção duradoura das pessoas e do ambiente face à regulamentação de protecção radiológica em vigor. Nesta matéria a regulamentação a utilizar deverá estar em conformidade com a Directiva 96/29 Euratom do Conselho, nomeadamente no que se refere aos limites de dose para elementos do público.

A avaliação deve incluir a descrição do sítio, as análises dos resíduos, a descrição das condições ambientais e deverá permitir, designadamente:

- identificar a natureza e composição das substâncias radioactivas (radioisótopos) presentes;
- entender o estado actual do sítio de deposição dos resíduos e explicitar as alterações a alcançar com o re-arranjo do armazenamento. Podem apresentar-se dois casos de figura: ou o sítio é apto a servir de armazenamento e os resíduos podem ficar no local com obras de confinamento, protecção, etc., ou o sítio não é apto e os resíduos devem ser removidos e transferidos para um local apto;

Exemplos: minas com impacto radiológico significativo (I)

Lodève



Extraíram-se 14000 ton U metal; 4.5 milhões de tons de resíduos.
Águas residuais saem com 1-2 Bq/l de Ra226 e 200 µg/l de U e são tratadas continuamente.



Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Exemplos: minas com impacto radiológico significativo (II)

L'Écarpière

Concessão mineira: 140 ha.

11.5 milhões tons de resíduos.

Armazenados e recobertos no local (72 ha).

Início dos trabalhos 1992.

Fim dos trabalhos 1996.

Vigilância radiológica bi-anual.

Área será aberta ao público, mas construção interdita.

Custo dos trabalhos: 20 milhões Euros (80% em movimentos de terras e recobertura)

Vue du Site de L'Écarpière en Exploitation



L'Écarpière Réaménagement mai 1997



Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear

Figura 5. Dois exemplos de minas de urânio em França, cujos sítios tinham e têm impacto radiológico significativo; Lodève, no sul, e L'Écarpière, no norte.

- seleccionar os sítios aptos a servir para armazenamento a longo termo dos resíduos radioactivos, com base nas condições geológicas, hidrogeológicas, fisico-químicas ambientais e suas implicações sobre a migração dos radionuclidos, identificar as vias de transferência, avaliar a vulnerabilidade do sítio à contaminação de águas superficiais (ribeiros, poços), lençóis freáticos profundos, e dos solos, bem como da fauna e flora;
- avaliar a aptidão do sítio e do confinamento dos resíduos necessário para conter o radão.

Estes estudos de impacto radiológico prévios têm por finalidade comparar as várias soluções possíveis e fundamentar a escolha da melhor solução para garantir a protecção radiológica do público e do ambiente.

O estudo do impacto radiológico deve permitir, também, justificar e propor um plano de vigilância radiológica após a intervenção de reabilitação ambiental e a sua duração previsível.

No estudo do impacto radiológico dos resíduos, para conhecer o estado actual e fazer uma previsão da situação as acções de remediação há certo número de características do sítio que têm que ser conhecidas. São elas, nomeadamente: a climatologia, a geologia, a hidrogeologia, a rede hidrográfica, as actividades agrícolas e agro-alimentares da região, a utilização das águas, a demografia, os costumes e a dieta da população local.

3º) *Elaboração de um modelo conceptual do sítio*

Trata-se de sintetizar os conhecimentos sobre o sítio, em particular no que respeita às vulnerabilidades, por forma a analisar a situação em termos de fontes radioactivas de contaminação, vias de transferência e vias de exposição, actuais e potenciais, dos membros do público às radiações ionizantes.

Este modelo conceptual visa facilitar compreensão e análise da situação do local e dos riscos radiológicos associados, bem como orientar a amostragem e vigilância radiológica dos vários compartimentos ambientais (ar, água, alimentos, etc.). O modelo visa, ainda, identificar, as vias críticas de exposição à radioactividade e permitir a identificação dos grupos da população sujeitos a maior risco radiológico.

O modelo deve contemplar, por exemplo:

- a descrição do termo fonte (minérios pobres ou resíduos de tratamento);

- a forma e arranjo do armazenamento dos resíduos (céu aberto, diques de retenção, sistemas de drenagem, cobertura final);
- o escoamento e gestão das águas do sítio (pluviais, águas contaminadas, tratamento de águas residuais, rede hidrográfica);
- a circulação e gestão das águas subterrâneas, superficiais e profundas e ressurgências.

4º) Definir os objectivos da acção de remediação e planear a sua execução

Conhecidas as características do sítio, importa identificar as metas a atingir com os trabalhos de reabilitação ambiental. Para os sítios com impacto radiológico significativo, isto significa que se têm que identificar:

- a redução de dose de radiação externa que se pretende atingir com os trabalhos de remediação (confinamento);
- a redução nas taxas de exalação de radão do solo ou escombreira para a atmosfera;
- a redução da contaminação radioactiva do ambiente, nomeadamente de linhas de água e solos, por escorrência superficial causada pelas águas da chuva;
- a redução da contaminação de aquíferos profundos com o isolamento do sítio de deposição dos resíduos e gestão das águas de infiltração.

Só com base na escolha das metas a atingir e com a ponderação dos custos das várias alternativas se poderá optar, de forma fundamentada, entre as várias soluções possíveis.

5º) Elaborar um plano de vigilância radiológica ambiental post-intervenção

Para cada local, em função das características do sítio e dos trabalhos de intervenção, deve ser elaborado um plano de vigilância radiológica para o período post-remediação. Este plano deverá permitir avaliar periodicamente o impacto radiológico e as doses para a população (grupo crítico) após a remediação.

3. Impacto radiológico e conformidade com as normas de protecção radiológica

A avaliação do impacto radiológico do armazenamento dos resíduos do tratamento do urânio baseia-se na determinação da dose eficaz total acrescentada para a população que vive em redor do sítio. Os grupos críticos da população são

aqueles para os quais o impacto do sítio é máximo tomando em conta todas as vias de exposição (inalação, ingestão, exposição externa). A dose acrescentada (ou adicional) corresponde ao impacto radiológico dos resíduos, ou seja, a dose que adicionam à dose do fundo radioactivo natural típico da região.

Neste ponto há que relembrar que a dose máxima admissível para elementos do público, estabelecida pela Directiva 96/29 Euratom, é de 1 mSv/ano. Embora ainda não transposta para a Lei Nacional, é esta a dose limite que deve desde já ser adoptada nos estudos de remediação ambiental. Há que ter presente também que o período muito longo dos radionuclidos em causa (exemplo, ^{226}Ra , 1600 anos) e a lentidão das transferências por algumas vias ambientais (exemplo, circulação de águas subterrâneas) requerem que se introduza uma escala de tempo apropriada na avaliação do impacto radiológico. Ou seja, a intervenção de remediação deve resultar numa solução eficaz à escala temporal de várias gerações humanas.

Por outro lado, o teste e validação da eficácia das medidas de remediação só é possível através dos resultados da rede de vigilância radiológica que deve ser mantida no sítio e seus arredores durante vários anos após a intervenção. Periodicamente, uma ou duas vezes por ano, a análise da radioactividade em todos os componentes e vias críticas deve ser feita e a dose de radiação calculada para o grupo crítico da população. A dose devida aos resíduos não poderá exceder 1 mSv/ano, ou seja, o acréscimo da dose acima do fundo radioactivo ambiental não modificado, não poderá exceder este valor.

A possível alteração do impacto radiológico durante o período post-intervenção deve ser prevista e testadas várias hipóteses, ou cenários, como, por exemplo, as perdas do revestimento do depósito de resíduos por erosão, ruptura do dique de contenção dos resíduos sólidos, exposição ao radão no caso de serem construídas habitações sobre o aterro de resíduos.

Para cada uma destas situações devem ser antecipadas as medidas de intervenção apropriadas para as solucionar. Na prática, e tratando-se de intervir em sítios existentes que não foram planeados para receber resíduos de acordo com as regras de radioprotecção actuais, a remediação ambiental significa intervir nas escombrelas de resíduos muito radioactivos para reduzir a exposição e o risco radiológico para a população.

Mas intervir para reduzir a dose de radiação e reabilitar as condições ambientais pré-existentes, é um esforço que deverá ser levado até que ponto?

Não existem estudos radiológicos de "ponto zero", isto é, levantamentos do fundo radiológico natural feitos antes da exploração de urânio e que possam servir de modelo para a reposição das condições ambientais pré-exploração. Por outro

lado, também não faria sentido repôr possíveis anomalias do fundo radiológico, entretanto reduzidas devido à remoção do urânio. Por isso, a reposição do fundo radiológico nos sítios mineiros deverá ser feita tomando como referencial o fundo radioactivo médio da região (mesma geologia, mesma climatologia, mesmo teor de radioactividade nos materiais). A intervenção deve, pois, ter por objectivo repôr os níveis de radiação externa e o fundo radiológico típicos da região.

Pode suceder que os custos de uma tal reposição sejam proibitivos e que não seja possível alcançar condições compatíveis com o limite de 1 mSv/ano em certos sítios. Neste caso será talvez preferível optar pela decisão de manter o(s) sítio(s) de armazenagem como sítios de acesso restrito, com medidas para impedir a intrusão do público, e manter a propriedade do sítio sob controlo do Estado. Sendo a área definida, e licenciada, como área de dose acrescentada acima do limite de 1mSv/ano não pode ser aberta ao público e não podem ser autorizados outros usos do terreno. Por outro lado, todos os esforços devem ser feitos para que o confinamento impeça a migração dos radionuclidos e a contaminação ambiental porque, mesmo adoptando esta solução, fora da área de acesso condicionado o impacto radiológico dos resíduos sobre os grupos críticos da população não poderá exceder 1 mSv/ano.

No processo de intervenção para remediação ambiental dos sítios mineiros há um elemento fundamental que não pode ser esquecido. Trata-se de manter a população informada sobre os resultados dos estudos de impacto radiológico e do que se espera alcançar com os planos de intervenção ambiental. De igual modo, os resultados de vigilância radiológica post-intervenção devem ser divulgados e a opinião pública deve ser escutada em todo o processo. Só assim se poderá tranquilizar a população relativamente aos efeitos das antigas explorações uraníferas e, com as soluções adoptadas, inspirar confiança e encorajar futuros usos dos terrenos das concessões mineiras.

4. Conclusões

A intervenção para reabilitação dos sítios mineiros de minérios radioactivos, bem como as decisões referentes ao destino a dar a cada um destes sítios, requer a adopção de uma metodologia com base científica. Esta é a trave-mestra de todo o processo decisório e a única forma de as decisões serem tomadas em conformidade com as normas e a legislação sobre a protecção do público contra os efeitos prejudiciais das radiações ionizantes.

A caracterização do risco radiológico dos sítios mineiros de minérios radioactivos, parece-nos indispensável para conduzir à hierarquização dos problemas e à orientação das acções de remediação ambiental nos locais em que tal seja necessário e prioritário.

Decorre daqui, também, que sem essa avaliação do risco radiológico estar feita e aprovada pelas entidades competentes, os coutos mineiros, instalações e maquinaria não devem ser alienados e vendidos ao público em virtude do risco radiológico que, potencialmente, podem representar.

A avaliação do impacto radiológico actual nos sítios mineiros que contêm resíduos francamente radioactivos é indispensável para a caracterização do termo fonte de irradiação e contaminação. A previsão do impacto radiológico a médio e longo prazo, após a aplicação de medidas de remediação ambiental, é também necessária. Trata-se de uma previsão complexa devido à presença dos mesmos radionuclidos nos resíduos e no ambiente e devido ao longo período de semi-desintegração dos radionuclidos envolvidos. Estas previsões só podem ser efectuadas através do recurso a modelos de previsão de dose, mas poderão ser aferidas pelos resultados da vigilância radiológica post-intervenção. Simultaneamente, e para acautelar o futuro, os sítios de armazenagem dos resíduos devem ficar inscritos nos Planos Directores Municipais e no registo cadastral dos terrenos com indicação da aptidão desses sítios para usos futuros.

Bibliografia

- Directiva 96/29/Euratom do Conselho, de 13 de Maio de 1996. Normas de segurança de base relativas à protecção sanitária da população e dos trabalhadores contra os perigos resultantes das radiações ionizantes. Jornal Oficial das C. E., L159.
- IAEA, 1994. Decommissioning of Facilities for Mining and Milling of Radioactive Ores and Closeout of Residues. Technical Report Series nº. 362. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- COGEMA, 1998. Le réaménagement des sites miniers em France. Les Cahiers de Cogemazine. Février 1998.

- IPSN, 2000. Guide méthodologique. Gestion des sites industriels potentiellement contaminés par des substances radioactives. Institut de Protection et de Sureté Nucléaire. França.