

## CONSIDERAÇÕES SOBRE DESCONTAMINAÇÃO DE SOLOS EM GOIÂNIA: DOSE NA POPULAÇÃO NO PRIMEIRO ANO E A LONGO PRAZO

E.C.S. Amaral; M.E.C.M. Vianna; J.M. Godoy; E.R.R. Rochedo; M.J. Campos; J.P. Oliveira; W.G. Reis; M.A. Pires do Rio; J.C.A. Pereira; C.H. Romeiro e A.C. Ramos Junior.

Instituto de Radioproteção e Dosimetria, IRD/CNEN  
Av. das Américas, km 11,5, Barra da Tijuca-RJ, Brasil  
CEP 22602 Caixa Postal 37750

### RESUMO

Atividades da ordem de  $10^4$  a  $10^5$  Bq/kg de Cs-137 no solo foram observadas em regiões circunscritas a um raio de 50 metros dos focos principais. A disseminação efetuou-se principalmente pelo vento e posterior deposição atmosférica. No entanto, observou-se que em terrenos baldios, também, ocorreu a localização de lixo contaminado. A perfilagem de solo mostrou ser uma metodologia adequada para a decisão quanto a camada de solo a remover. Os resultados evidenciaram uma migração do Cs-137 no solo independente da atividade específica depositada na superfície e que, em média, 60% permanecia retida na camada superior de 1,5 cm, decorridos 5 meses após o acidente. Os limites e procedimentos adotados asseguraram que o grupo crítico receberá uma dose total acima do "background" inferior a 4 mSv no primeiro ano e, a 0,68 mSv/a, em média, ao longo da vida.

### ABSTRACT

Values of the order of  $10^4$  to  $10^5$  Bq/kg for the Cs-137 specific activity were observed for soils from regions within a radius of about 50 meters around the main focus. The dissemination was done by the wind and further deposition. However, it was also observed the disposal of contaminated housewaste at unused gardens nearby. It was found the soil profiles as an adequate method for decision on the soil layer to be removed. The in-soil Cs-137 migration presented the same shape whatever the specific activity deposited at the surface and in average 60% of the total activity has remained at the upper 1.5 cm layer over the first five months after the accident. The limits and procedures that have been adopted ensure a total dose to the critical group below 4 mSv for the first year and 0.68 mSv/a in average over the lifetime above background.

## INTRODUÇÃO

Simultaneamente ao isolamento e descontaminação dos focos, durante a 1ª fase da emergência, foi realizado um levantamento da concentração de Cs-137 no meio ambiente aquático e terrestre (1). Este levantamento objetivava identificar os meios críticos de exposição da população, subsidiando a condução de investigações e, se necessário, de ações posteriores. Considerou-se como meio crítico aquele que apresentasse atividades específicas correspondentes a uma possível dose individual total superior a 1 mSv no primeiro ano. Com base neste critério, os dados evidenciaram a necessidade de investigação e/ou de ação, apenas, para árvores frutíferas e solos contaminados, devido a disseminação de Cs-137 dos focos principais numa região circunscrita a um raio de aproximadamente 50 metros.

Os frutos apresentaram atividades entre  $10^2$  e  $10^4$  Bq/kg, consoante a sua proximidade dos focos, sua colheita foi efetuada adotando um limite derivado de 650 Bq/kg. As árvores foram podadas tendo em vista, principalmente, a futura ingestão de novos frutos. A grande maioria das árvores foram podadas e os frutos colhidos em novembro (2 meses após o início da disseminação). O valor médio da concentração de Cs-137 nesses frutos foi de 2674 Bq/kg o que representa uma dose equivalente efetiva comprometida de 1 mSv ao final de 70 anos pelo consumo diário durante o período de 2 meses. Como se pode observar não acarretaria nenhum risco adicional significativo, equivalendo a uma dose comprometida média anual de 0,015 mSv acima do background (2 mSv/a). Porém alguns frutos, embora poucos, foram colhidos em janeiro (4 meses após o início da disseminação). Admitindo o consumo diário durante esse período com concentrações de  $10^4$  Bq/kg (nunca observadas) o valor de dose seria de 4 mSv, correspondendo a um valor de 0,06 mSv/a, em média, de acréscimo de dose ao longo da vida do indivíduo.

Os solos contaminados selecionados para investigação e/ou ação foram aqueles com atividades específicas da ordem de  $10^4$  a  $10^5$  Bq/kg. A sua descontaminação procedia do fato de serem o meio crítico de exposição da população à radiação, não só durante o primeiro ano após o acidente como também à longo prazo. A presença de césio-137 no solo, além de ser uma fonte de radiação externa, contribuirá, devido a sua utilização, para o aumento da dose equivalente comprometida pela ingestão de alimentos e, em menor grau, pela inalação. Adicionalmente é o meio relevante para disseminação de Cs-137 na região ao longo do tempo.

O estabelecimento de limites derivados para solo (2) e dos procedimentos de descontaminação (3) teve como base as seguintes premissas: a) limite de dose total no grupo crítico de 5 mSv no primeiro ano e de 1 mSv/ano, em média, ao longo da vida do indivíduo e/ou grupo críticos; b) provocar o menor desgaste emocional possível

vel na população; c) gerar o menor rejeito possível.

#### DESCONTAMINAÇÃO DE SOLOS: CONSIDERAÇÕES

A descontaminação de solos foi posta em prática após uma investigação em todas as residências e terrenos baldios numa região circunscrita a um raio de 100 metros em torno dos focos principais (fig. 1). Observou-se a ocorrência de diferentes tipos e formas de contaminação, exigindo a adequação dos procedimentos de descontaminação a cada situação específica (4). Na maioria dos terrenos, em particular, nos residenciais, teve lugar a ressuspensão pelo vento e posterior deposição atmosférica seca e/ou úmida. Isto foi evidenciado pelo tipo de perfil de césio no solo e pela aleatória heterogeneidade do valor da atividade específica e da taxa de dose em pequenas áreas. Este fato foi devido ao percurso irregular de poeiras carregadas pelo vento e intercetadas por diferentes tipos de superfícies, característico de áreas urbanas. A deposição por via úmida foi principalmente devido à lavagem do material depositado nos telhados.

Os resultados da perfilagem de solo (5) realizadas até 15 cm de profundidade, evidenciaram ser a migração do césio independente da atividade específica depositada na superfície (faixa de variação observada  $10^3$  a  $10^5$  Bq/kg). Adicionalmente, mostraram que, em média, 60% da atividade depositada permanecia nos primeiros 1,5 cm, decorridos 5 meses após o acidente. Estas observações sugeriam ser a perfilagem um bom indicador da camada de solo a remover.

Dois testes foram realizados (3), os quais comprovaram a viabilidade do método. Assim, estabeleceu-se o seguinte procedimento: a) mapeamento da taxa de dose gama do terreno; b) perfilagem no local de maior valor de taxa de dose; c) remoção da camada de solo indicada pela perfilagem; d) remoção de uma camada adicional; e) medida final da taxa de dose gama e da atividade específica média do solo; f) no caso de proximidade com os limites derivados, cobertura com uma camada de 3 cm de solo "limpo"; g) liberação do terreno. Os testes mostraram que, devido a heterogeneidade da deposição, a remoção de cada camada de solo deveria ser efetuada simultaneamente em todo o terreno. Este procedimento foi adotado com sucesso em todos os locais onde a deposição atmosférica teve lugar.

Porém, terrenos baldios circunvizinhos são utilizados como verdadeiros aterros sanitários. Consequentemente, além de por vezes ter ocorrido deposição atmosférica, sua contaminação foi devido, também, a presença de lixo contaminado. Este lixo, provavelmente proveniente das "residências-foco", antes da intervenção da CNEN, foi encontrado ora exposto, ora enterrado. No caso de exposto, era total e facilmente removido, porém, a lixiviação do césio pela

chuva havia provocado a contaminação do solo adjacente. A atividade superficial do solo decrescia com a distância, de acordo com o percurso de escoamento da água de chuva. Muito embora os perfis apresentassem características de deposição, esta não se processava de forma aleatória como no caso da ocorrência via atmosfera. Desta forma, o mesmo procedimento de descontaminação foi adotado e, apenas, facilitado, pois, neste caso, em contraste com a situação de deposição atmosférica, apenas a região de interesse, bem delimitada, necessitava remoção.

Quando o lixo estava enterrado, os perfis apresentavam formas absolutamente irregulares, devido ao fato da não homogeneidade do material. O césio mobilizado pela água de chuva seguiu percursos irregulares, através da mistura solo/lixo, consoante o tipo de material que atravessava. Este fator influenciava, também, a maior ou menor retenção do césio. Neste caso, as perfilagens não puderam ser utilizadas como um método decisivo da remoção de solo mas, como bons indicadores da extensão na superfície e profundidade da região afetada.

#### DOSE NA POPULAÇÃO NO PRIMEIRO ANO E A LONGO PRAZO

Os limites derivados para solo foram estabelecidos levando em consideração os limites de dose adotados para o grupo crítico, e dados obtidos durante a etapa de investigação, além de outros dados locais. Uma vez que a radiação externa é o principal contribuinte para a dose total do indivíduo crítico, adotou-se o valor de 3 mSv como limite da dose gama  $H_{\gamma}$  no primeiro ano. A observância deste limite foi efetuada através de medidas de taxa de dose a 1 metro. Considerando um fator de ocupação nos terrenos de 0,5 (12 horas/dia), os mesmos eram liberados ou selecionados para descontaminação se se observasse valores de taxa de exposição superiores a 100  $\mu$ R/h (considerando o background de 20  $\mu$ R/h). Este valor corresponde a uma atividade específica superficial de 430 KBq/m<sup>2</sup> ou 22,5 KBq/kg na camada superficial de 1,5 cm de solo (6), limite derivado utilizado na avaliação dos dados da perfilagem.

Considerando este valor de atividade superficial, que corresponde a 3750 Bq/kg em 15 cm de solo (60% retido na superfície) estimou-se a dose equivalente efetiva comprometida durante o primeiro ano, devido a utilização do solo. Foi empregado o modelo do Safety Series 57 (7) e consideradas como vias possíveis de exposição interna à radiação, além da inalação via ressuspensão, a ingestão de frutas, frango, ovo, porco e vegetais provenientes do local. Desta forma o grupo crítico, se exposto a todas as vias, receberia no 1º ano uma dose equivalente efetiva comprometida  $^{70}\text{Hu}$  de 1 mSv.

O comprometimento das doses durante 50 anos é de 32 mSv para a externa e de 1,96 mSv para a interna. O cálculo do comprometimento da dose externa considerou além do decaimento radiati-

vo de Cs-137 a sua mobilidade em profundidade no solo (6,8). No caso da dose comprometida, empregou-se a função de transferência da UNSCEAR (8). A Tabela 1 apresenta os resultados das doses no primeiro ano e no futuro para o grupo crítico e indivíduo médio da região que sofreu intervenção. A dose total no indivíduo médio dessa região será devido a radiação externa e ingestão de frutas, uma vez que árvores frutíferas foram observadas em praticamente todas as residências. Além de difícil, é raro no local a existência de residências com árvores frutíferas, horta, galinhas e porcos simultaneamente e/ou com quantidade suficiente para suprir a alimentação. Desta forma todas estas vias possíveis foram consideradas, apenas, no cálculo da dose do grupo crítico.

É importante ressaltar que o procedimento adotado de cobertura com 3 cm de solo limpo, no caso de proximidade dos limites, implica numa redução de pelo menos um terço da dose total. Para o grupo crítico a dose no 1º ano seria 1,2 mSv e para o indivíduo médio 1,1 mSv. No entanto, não deve ser desprezado um acréscimo de dose externa devido a uma possível exposição nas restantes 12 horas do dia dentro de uma residência e/ou em logradouros.

## CONCLUSÕES

Podemos concluir deste trabalho que a perfilagem de solo mostrou ser um bom indicador e, na maioria dos casos, um método decisivo de sua descontaminação. O procedimento adotado permitiu efetua-la causando o menor desgaste emocional possível uma vez que, apenas nos casos de lixo enterrado foi necessária a remoção de camadas profundas de solo, e gerando o mínimo rejeito.

O grupo de indivíduos críticos da região circunscrita a um raio de ~ 50 metros em torno dos focos principais poderá receber, se exposto a todas as possíveis vias críticas, uma dose total máxima no primeiro ano de 4 mSv e de 0,68 mSv/ano, em média, ao longo de sua vida, acima do "background".

As observações do decréscimo com o tempo da atividade específica de solos e folhas nos locais que não necessitaram de intervenção, evidencia uma rápida dispersão do césio-137 na região por vento e chuva, com consequente diluição da sua atividade específica. Assim, além de sabermos que a dose total do indivíduo médio da região afetada é menor que o estabelecido, aquele mecanismo contribuirá para um rápida diminuição da dose individual do grupo crítico.

Todas as atitudes e observações justificam que, além dos programas de controle em Goiânia e nas circunvizinhanças do repositório de Abadia, sejam conduzidos estudos de pesquisa. A dispersão do césio-137 na área urbana deverá ser acompanhada e, consequentemente, a bacia hidrográfica por ser a receptora do sistema de drenagem e esgoto da cidade. Uma vez que ocorreu o acidente, deve

mos retirar o maior número de informações possível, as quais serão de grande valia na compreensão de mecanismos ambientais.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Godoy, J.M.; Guimarães, J.R.D.; Gouvea, V.A. e Rochedo, E.R.R. Monitoração do  $^{137}\text{Cs}$  no Ambiente Aquático e Terrestre de Goiânia. Anais do II Congresso de Energia Nuclear (a publicar).
2. Amaral, E.C.S. e Rochedo, E.R.R. Estabelecimento de Limites Derivados para Ambiente. Relatório da Comissão Nacional de Energia Nuclear (a publicar).
3. Amaral, E.C.S.; Vianna, M.E.C.; Godoy, J.M.; Campos, J.M.; Oliveira, J.P.; Pires do Rio, M.A.; Reis, W.G. e Pereira, J.C.A. Otimização de um Procedimento de Descontaminação de Solos Residenciais após um Acidente Radiológico. IRD/CNEN (a publicar).
4. Amaral, E.C.S.; Godoy, J.M.; Campos, H.J. e Pires do Rio, M.A. A Disseminação de  $^{137}\text{Cs}$  nos Solos de Goiânia: Diversidade e Implicações na sua Reabilitação. IRD/CNEN (a publicar).
5. Godoy, J.M.; Amaral, E.C.S.; Vianna, M.E.C.; Pires do Rio, M.A.; Campos, H.J. e Oliveira, J.P. As Características dos Solos de Goiânia e a Migração do  $^{137}\text{Cs}$ . IRD/CNEN (a publicar).
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Derived Intervention Levels for Application in Controlling Radiation Doses to the Public in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency. Principles, Procedures and Data. Safety Series 81, IAEA, Vienna, 1982.
7. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases. Exposures of Critical Groups. Safety Series 57, IAEA, Vienna, 1982.
8. UNITED NATIONS. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. New York, 1977. Official Records of the General Assembly. Annex C.

TABELA 1: RESULTADOS DAS DOSES NO GRUPO CRÍTICO E NO INDIVÍDUO MÉDIO NO PRIMEIRO ANO E A LONGO PRAZO

POPULAÇÃO	DOSE NO 1º ANO		DOSE NO FUTURO	
	$H_g$ (mSv)	${}^{70}\text{H}_E$ (mSv)	$\bar{H}$ (mSv/a)	${}^{70}\bar{H}_E$ (mSv/a)
GRUPO CRÍTICO	3,0	1,0	0,64	0,04
IND. MÉDIO	3,0	0,2	0,64	0,008

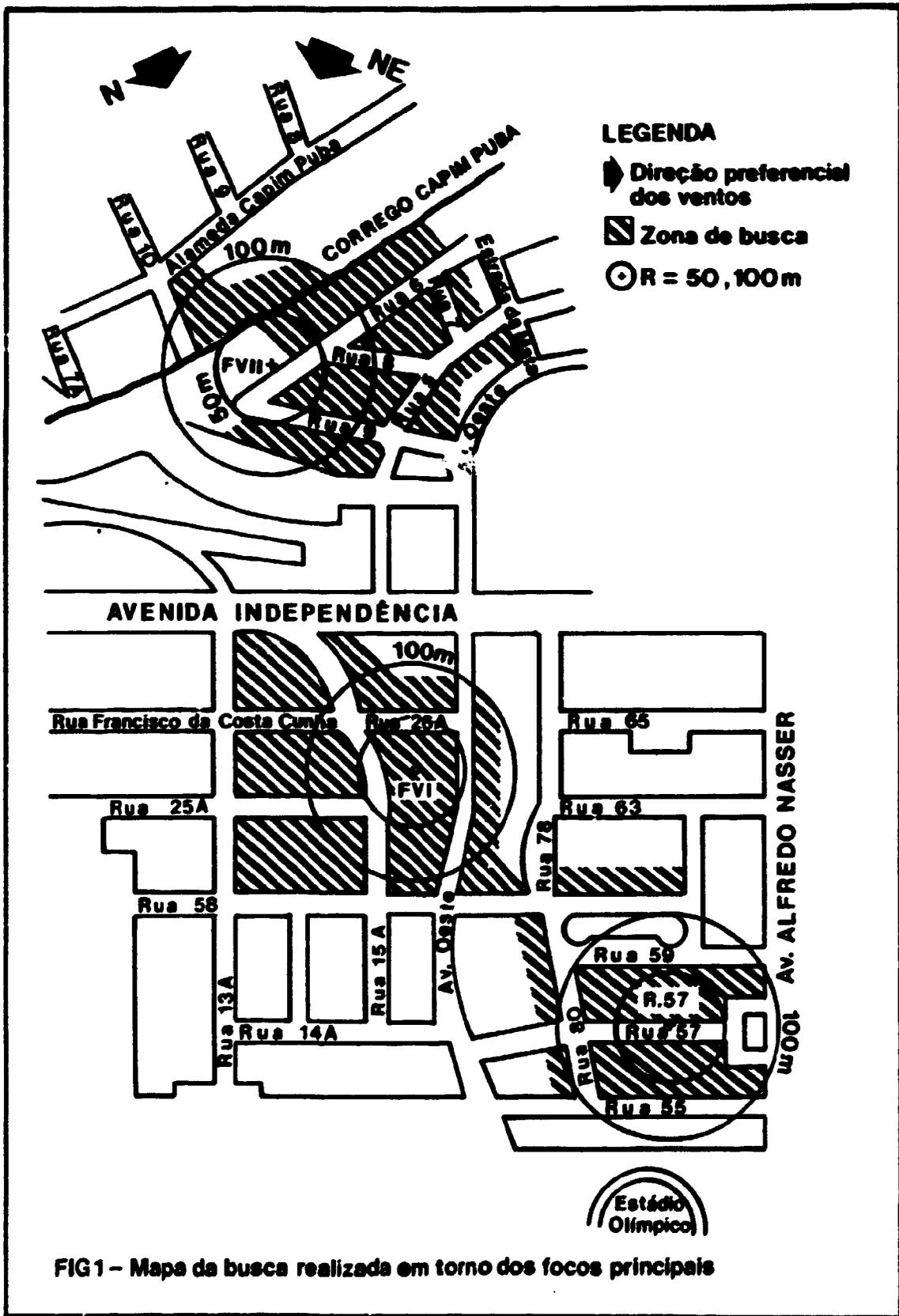


FIG1 - Mapa da busca realizada em torno dos focos principais