

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR  
INSTITUTO DE RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RADIOPROTEÇÃO E DOSIMETRIA

**DIOGO NEVES GOMES DA SILVA**

**ESTUDO DA APLICAÇÃO DE MEDIDAS DE PROTEÇÃO PARA O PÚBLICO E DE  
REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS EM CASO DE ACIDENTES  
NUCLEARES E/OU RADIOLÓGICOS NO BRASIL**

RIO DE JANEIRO

2011

DIOGO NEVES GOMES DA SILVA

ESTUDO DA APLICAÇÃO DE MEDIDAS DE PROTEÇÃO PARA O PÚBLICO E DE  
REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS EM CASO DE ACIDENTES  
NUCLEARES E/OU RADIOLÓGICOS NO BRASIL

Dissertação aprovada para obtenção do Grau de Mestre  
pelo Programa de Pós-Graduação em Radioproteção e  
Dosimetria do Instituto de Radioproteção e Dosimetria  
da Comissão Nacional de Energia Nuclear na área de  
RADIOECOLOGIA.

Orientador(a):

Dra. Maria Angélica Vergara Wasserman  
IRD/CNEN

Co-orientador(a):

Dra. Elaine Rúa Rodriguez Rochedo  
IRD/CNEN

Rio de Janeiro – Brasil

2011

Silva, Diogo Neves Gomes da

Estudo da aplicação de medidas de proteção para o público e de remediação de áreas contaminadas em caso de acidentes nucleares e/ou radiológicos no Brasil / Diogo Neves Gomes da Silva. – Rio de Janeiro: IRD, 2011.

xvii, 128 f. : il. ; 29cm.

Orientador: Maria Angélica Vergara Wasserman  
Dissertação (mestrado) – Instituto de Radioproteção e Dosimetria.

Referências bibliográficas: f. 98-106

1. Avaliação de dose. 2. Exposição do público. 3. Modelagem Ambiental. I. Instituto de Radioproteção e Dosimetria. II. Título.

DIOGO NEVES GOMES DA SILVA

ESTUDO DA APLICAÇÃO DE MEDIDAS DE PROTEÇÃO PARA O PÚBLICO E  
DE REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS EM CASO DE ACIDENTES  
NUCLEARES E/OU RADIOLÓGICOS NO BRASIL

Rio de Janeiro, 30 de junho de 2011.



---

*Dra. Maria Angélica Vergara Wasserman – IRD/CNEN*



---

*Dr. Julio Cesar de Faria Wasserman – REMADS/UFF*



---

*Dra. Ana Cristina de Melo Ferreira – IRD/CNEN*



---

*Dra. Jane Shu – CNEN*

O presente trabalho foi desenvolvido no Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear, sob orientação da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Angélica Vergara Wasserman e coorientação da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elaine Rua Rodriguez Rochedo, com auxílios concedidos pelas seguintes agências: CNPq e CNEN.

*“Mas, quando falo dessas pequenas felicidades certas, que estão diante de cada janela, uns dizem que as coisas não existem, outros que só existem diante das minhas janelas, e outros, finalmente, que é preciso aprender a olhar, para vê-las assim.”*

(Cecilia Meireles)

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os brasileiros que,  
direta ou indiretamente, foram afetados  
pelo acidente radiológico de Goiânia.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, Aquele que tem sido o meu refúgio e o meu socorro bem presente na hora da angústia (Sl 46:1), por ter me sustentado e me fortalecido durante toda a caminhada que tenho percorrido, não só do mestrado como também por toda a minha vida.

Quero agradecer também ao meu tio Ariovaldo, mais conhecido como Ari pelos funcionários do IRD, porém chamado de Valdo pelos familiares, por ter sido, mesmo que sem saber, um instrumento usado por Deus para que Ele pudesse abrir as portas deste instituto e me abençoasse numa época em que eu esperava algo, mas nem imaginava de onde viria a resposta.

Aos meus pais, por todo o apoio oferecido, por investirem na minha educação e no meu crescimento profissional e por sempre acreditarem que eu tinha condições de vencer os obstáculos. Sou imensamente grato a Deus por ter dado condições a meus pais para o meu sustento e por nada ter faltado até então.

Ao meu irmão e à minha cunhada, pelo companheirismo, pelo carinho, por todas as experiências que vivenciamos e por aquelas que eu observei, pois elas trouxeram grandes ensinamentos para a minha vida.

Aos meus familiares (tios, tias, primos e primas), por terem me ensinado o significado de união e por terem me transmitido valores e princípios que guardarei para sempre. Graças a eles, aprendi a valorizar as pessoas, a estar sempre próximo dos meus entes queridos e a prestar atenção na simplicidade das coisas. Sou muito grato a Deus pelos pais e pela família que tenho.

A todos os meus amigos, em especial à Isabelle, pois ela tem praticamente me acompanhado nos últimos quase seis anos e tem sido uma pessoa fiel, divertida, parceira e acima de tudo, sincera. Sei que tem torcido bastante para o meu crescimento profissional, e a recíproca é verdadeira.

Agradeço à minha orientadora Angélica por todos os seus ensinamentos, tanto em sala de aula quanto fora dela, os quais foram de grande valia para o meu crescimento acadêmico. Obrigado por ter me acolhido em sua sala de bolsistas quando eu ainda era aluno de iniciação científica do SEANA, pela amizade construída desde então e pela preocupação com o bem-estar e com o andamento das atividades de todos os seus alunos. Ela é uma pessoa bastante simples, humilde e compreensiva, e me sinto bastante honrado por fazer parte de uma equipe para quem ela não hesitou em abrir as portas de sua casa para recebê-la.

À minha coorientadora Elaine, a qual foi minha orientadora durante a minha iniciação científica no IRD e me ensinou muitas coisas, agradeço pela ajuda, pelo carinho, pelo companheirismo, pela paciência, pelo incentivo, pela preocupação e principalmente por acreditar no meu potencial. Sem dúvidas, a sua participação neste projeto foi muito importante para o seu



andamento. Ela sempre esteve acessível para conversar, para tirar dúvidas e para responder minhas mensagens. Suas discussões foram muito proveitosas e trouxeram ótimas contribuições para a minha formação.

Obrigado à Tati, por ter sido uma das primeiras bolsistas da Angélica a ter me recebido e por ter me acompanhado desde o início da iniciação científica até o meu segundo ano de mestrado. Sou grato pela ajuda oferecida, pelo carinho, pelas experiências vividas e pela aprendizagem que pude construir a partir delas.

À Flavinha (Padilha), que infelizmente me acompanhou por pouco tempo, mas foi o suficiente para criarmos laços afetivos, os quais certamente ficarão registrados para sempre. Obrigado pela calorosa recepção e pela disposição a me ajudar sempre que eu precisasse! Jamais me esquecerei disso.

À Fernanda, que atualmente faz parte da equipe de bolsistas e tem compartilhado comigo três anos de trabalho, agradeço pelos numerosos momentos por que passamos, momentos estes que variaram desde um pequeno estresse, manhãs de mau-humor, até dias de brincadeiras, risadas e de comprometimento nas horas de dúvidas sobre os trabalhos desenvolvidos. Sua dedicação, seu esforço e seu interesse em aprender me causavam admiração e me inspirava.

À Luciana, de quem sinto muitas saudades, agradeço pela ótima companhia e pelos ensinamentos de que desfrutei durante o período em que ela foi bolsista do IRD. Trabalhar com ela foi muito significativo para mim, pois a sua calma e tranquilidade eram notáveis, apesar das dificuldades com a implementação do GIS. Foi um prazer levantar dados para ajudá-la no programa.

À Udilma, pela sua essencial ajuda oferecida durante o mestrado e pela grande amizade que construímos desde então. Muitas vezes, sua ajuda se tornava praticamente momentos de orientação para o meu trabalho, e sou grato por isso. Seus comentários eram sempre pertinentes e, embora não pareça, foram muito construtivos. Sinto-me honrado em saber que ela ficou responsável pela equipe de bolsistas orientados pela Angélica e afirmo sem dúvida alguma que ela cumpriu brilhantemente sua tarefa. Foi ótimo tê-la por perto para conversar e para desestressar sempre que era necessário.

Quero aproveitar este espaço para agradecer também a todos os outros bolsistas do SEAIA, os quais tive o prazer de conhecer ao longo desses quase quatro anos em que estive no IRD: Márcio, Bruno, Lilian (que já estava quase de saída do SEAIA quando cheguei lá), Vitor Coutinho (pelas agradáveis conversas, muitas delas meio loucas nas horas de descontração) e Vitor Viana (pelas experiências trocadas). Embora alguns tenham me acompanhado por pouco tempo, gostaria de prestigiá-los, deixando seus nomes registrados aqui.

Obrigado à Raquel, aluna da Dejanira, que não chegou a ser bolsista, mas fez parte do nosso grupo de alunos do SEAIA e sua presença era sempre bem-vinda. Em especial, quero destacar o meu agradecimento aos dois Guilhermes: Sobrinho, pelo apoio, pela amizade, pela ajuda e pelas explicações sobre botânica e agronomia, bastante esclarecedoras, e Rezende, pelas trocas de informações sobre diversos assuntos (informática, principalmente), pela amizade e pelas risadas provocadas por seus comentários sarcásticos, mas o importante é que acabei aprendendo a ser um pouco irônico como ele.

A todos os funcionários do SEAIA, sobretudo à Mônica, por sempre me receber solícitamente e por providenciar os materiais necessários à sala dos bolsistas e por conceder os pedidos referentes aos projetos de pesquisas de cada aluno. À Dejanira, por também se prontificar a nos atender na ausência da Mônica.

À minha turma do mestrado, deixo os meus sinceros agradecimentos por cada minuto compartilhado dentro e fora das salas de aula. Passamos por momentos de dificuldades, de ajuda mútua, de compreensão, tenho muito orgulho de ter conhecido esse pessoal e ter feito parte desta turma tão especial, que incluiu pessoas inteligentes, estudiosas, trabalhadoras, comprometidas e amigáveis. Tenho certeza de que nossa passagem pelo IRD foi marcante para o programa de pós-graduação e me sinto honrado em saber que a nossa turma será inesquecível. Obrigado pela amizade, que certamente perdurará, e pelas várias confraternizações organizadas, sem as quais não teriam possibilitado a nossa união. Faço questão de citar seus nomes: Amanda, Ana Luiza, Ana Paula, Eduarda, Gabriel, Luciano, Marcela, Mauro Otto, Mauro Wilson (nosso representante muito competente), Olivia, Paula, Rócio, Rodrigo, Tadeu e Tainá. Em especial, gostaria de deixar um destaque para: Olivia, Paula e Rodrigo, pela amizade que se iniciou com a nossa frequente aproximação no início das aulas e pelas experiências divididas e aprendidas. Não poderia me esquecer da mãe da Olivia, tia Cris, que apresentou uma participação especial na minha vida e (por que não?) fundamental no apoio ao desenvolvimento desta dissertação.

Agradeço também à Maria Letícia e à Vanessa, pois embora não tenham feito parte da nossa turma oficialmente, também dividiram ocasiões importantes conosco. A Vanessa eu tive a oportunidade de conhecer durante as aulas e, ela me ajudou muito em algumas disciplinas.

Muito obrigado aos meus professores do mestrado (Tauhata, Pedro, Conti, Bonacossa, Cláudia, Luiz Matta, Paulo Roberto, Júlio, Angélica, Elaine, Dejanira, Kenya e José Guilherme), pela atenção, pela paciência, pelo interesse, pela compreensão e pela disponibilidade para ajudar no que for preciso e para tirar dúvidas fora das aulas. Sou grato a todos eles pela boa formação proporcionada, a qual será de grande valia daqui em diante.

Aos professores dos cursos regulares do IRD de que participei (Tauhata, Raul, Marcos, Carlos, Leocádio), por terem apresentado, complementado e fornecido grandes contribuições

para o meu conhecimento sobre radioproteção. Muitas de suas aulas foram imprescindíveis para que eu não me sentisse “um peixe fora d’água”, principalmente quando cheguei ao IRD e não tinha a menor ideia sobre o que era radioatividade. Obrigado também à Cecília, por ter participado desse processo, organizando e agilizando toda a burocracia necessária.

À minha turma e aos meus professores do curso de especialização em ensino de ciências, especialmente àqueles que tinham conhecimento da minha caminhada no mestrado e acabaram acompanhando minhas notícias, pois se dispuseram para me ajudar se houvesse dificuldades e sempre torceram para que desse tudo certo.

Aos bolsistas de outros departamentos (Luana, Felipe, Erick, Evelin, Guilherme Bittencourt, Maximiano, Rosane, Bianca), agradeço pela amizade, pela troca de informações técnicas e pelos agradáveis bate-papos. Ao Mairo, Viviane e Alexandre, pela companhia e pela amizade proporcionadas graças à oportunidade concedida pelas verbas que financiaram nossas viagens a congressos da área.

À Luciane e à Aline, pela amizade e pela ajuda oferecida. Embora nos víssemos com pouca frequência, pude observar o empenho e a dedicação no trabalho, e agradeço a elas por estarem, na medida do possível, disponíveis para conversar e discutir vários assuntos. Aline, obrigado pelo acompanhamento nas aulas de Monte Carlo!

Aos técnicos de informática (Dimas, Mickel e Ilem), deixo um obrigado especial, pois sem eles, eu não teria condições de trabalhar e de escrever esta dissertação. Eles sempre foram muito solícitos, prestativos e atenciosos e tinham o “dom” de resolver os problemas dos computadores da sala dos bolsistas do SEAIA.

Também agradeço aos funcionários do IRD, especialmente à Deyse (por me auxiliar na prestação de contas de todas as viagens a congressos e pelo ótimo atendimento), à Maria José (pela amizade e pela companhia durante o curso de emergência do IRD), à Adriana (pelos atendimentos prestados no setor de protocolo), à Norma (pela sua simpatia em todas as vezes que me atendeu), ao pessoal do setor de compras (por providenciarem os pôsteres que eu solicitei para os congressos onde apresentei trabalhos), aos servidores que participaram dos trâmites para a liberação das verbas que financiaram minhas viagens a congressos (pois sem eles, eu não teria condições de custear metade delas), e a todos os responsáveis pela limpeza (Zezé, Neusa e Célia), pela segurança, pelo transporte, pela manutenção de aparelhos, pela conservação do espaço, pela administração e pelo atendimento, pois todos eles foram responsáveis para que tornassem o IRD num local agradável para se trabalhar e para se estudar. Destaque para: dona Taís, Débora, Renata e Vítor, que tiveram suas (às vezes, curta, mas não por isso despercebida) passagens pelo SEAIA.

Às bibliotecárias Dilma e Bete, pelo excelente serviço prestado sempre que precisei, pela paciência em ajudar, pelas dicas sempre muito úteis e pela amizade. Elas foram essenciais na obtenção de dissertações, de artigos e de livros que precisei durante a minha passagem pelo IRD.

Não posso deixar de citar três pessoas que foram importantes durante todo o meu mestrado, pois elas foram responsáveis por toda a burocracia envolvida com a minha matrícula: Marta, Renata e Leia. E não foram importantes apenas por essa função, mas pela amizade construída e pelos inúmeros atendimentos prestados, alguns deles até fora do horário oficial. Agradeço também à Rosane, por todo o auxílio fornecido durante as minhas bolsas PIBIC e PCI.

Ao grupo de oração do IRD, agradeço pelas orações, pelo suporte e pelas reuniões que fazíamos no horário de almoço, as quais com certeza, trouxeram conforto a todos nós. Obrigado também a todos os meus irmãos em Cristo, notadamente aqueles que conheci no Campinho há dois anos, logo depois que iniciei o mestrado.

À CNEN e ao CNPq, pelas bolsas concedidas (PIBIC, PCI e de mestrado) durante a realização dos projetos envolvidos com este trabalho. À CAPES, pelos auxílios financeiros repassados ao IRD, através do convênio PROAP, para custear a minha participação nos diversos congressos a que fui.

À pesquisa científica, que é a base para a geração de conhecimento para a sociedade, sou grato por ter me transformado no que hoje sou, um mestre que tem prazer em fazer ciência.

## RESUMO

Desde o acidente radiológico de Goiânia, em 1987, o IRD (Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD/CNEN) tem desenvolvido ferramentas de apoio a processos de tomada de decisão após um acidente nuclear ou radiológico que causem contaminação do meio ambiente e exposição de indivíduos do público. Esses processos incluem o estabelecimento de um modelo multicritério de apoio, que envolve aplicações de medidas de proteção e de remediação de áreas contaminadas em ambientes tropicais. No presente trabalho, a avaliação da eficiência dessas medidas foi realizada, de forma a determinar as consequências da sua implementação, com base nos resultados obtidos através do código SIEM (Sistema Integrado de Emergência), que se constitui num modelo ambiental desenvolvido pelo IRD para simular esse tipo de acidente. Para executar esta avaliação, primeiramente foi elaborado um banco de dados contendo descrições sobre diversas medidas de proteção/remediação, passíveis de serem aplicadas em âmbito nacional. Em seguida, foram estabelecidos alguns cenários básicos, considerando as características ambientais, habitacionais e alimentares da população presente nos arredores das usinas nucleares de Angra dos Reis, no Rio de Janeiro. Assim, foram realizadas simulações de acidentes contendo separadamente liberações de  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{131}\text{I}$ . Os resultados mostraram que a redução da dose varia em função da medida de remediação aplicada, bem como em função do momento de aplicação. Apesar de ser possível estabelecer algumas diretrizes básicas, soluções genéricas são desaconselhadas, uma vez que as doses resultantes são muito dependentes da situação real. Qualquer processo de tomada de decisão deve ser efetuado caso a caso, de acordo com as condições reais da área atingida e com as características de ocupação e o uso das áreas afetadas, considerando as características do termo-fonte de contaminação, a época do ano em que ocorre o acidente, as práticas agropecuárias locais e os hábitos alimentares reais das populações afetadas. Para ambos os tipos de área, foi observado que seria adequado classificar as medidas de proteção de acordo com três critérios: (i) sua eficiência em reduzir as doses no primeiro ano; (ii) sua eficiência em reduzir a dose de longo prazo; e (iii) o efeito do atraso na aplicação das medidas na eficiência na redução de doses. Por fim, os resultados obtidos neste trabalho serão complementados na base de dados, a fim de fornecer suporte para análises multicritério em processos de tomada de decisão após este tipo de acidente.

Palavras-chave: avaliação de dose, exposição do público, modelagem ambiental, ambientes tropicais.

## ABSTRACT

Since the radiological accident in Goiania in 1987, the IRD (Institute of Radiological Protection and Dosimetry – IRD / CNEN) has been developing tools to support decision-making processes after a nuclear or radiological accident which leads to an environmental contamination and to an exposure of individuals the public. These processes include the establishment of a supporting multicriteria model, which involves the application of protective and remediation measures of contaminated areas in tropical environments. In this study, it was performed an evaluation of the efficiency of these measures in order to determine the consequences of their implementation, based on results obtained from the code SIEM (Emergency Integrated System), which constitutes an environmental model developed at IRD to simulate this type of accident. In order to perform this evaluation, it was first developed a database containing descriptions of various protection/remediation measures, which could be applied nationwide. Afterwards, some basic scenarios were established, considering the environmental, housing and food characteristics of the population of the vicinity of the nuclear power plants in Angra dos Reis (state of Rio de Janeiro). Thus, the accident simulations were carried out separately containing releases of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{131}\text{I}$ . The results showed that the dose reduction varies according to the extent and the timing of the remediation measure applied. Although it is possible to establish some basic guidelines, generic solutions are not recommended, since the resulting doses are highly dependent on the actual situation. Any decision-making process should be made case by case, according to the actual conditions of the affected area and to the occupation characteristics and use of the affected areas, considering the characteristics of the source term of contamination, the time of the year in which the accident occurs, the local agricultural practices and food habits of real people affected. For both types of area, it was observed that it would be appropriate to assign the security measures according to three criteria: (i) its efficiency in reducing the doses in the first year, (ii) its efficiency in reducing the dose of long-term and (iii) the effect of delay in implementing the measure efficiency in reducing doses. Finally, the results of this work will be complemented in the database in order to provide support for multi-criteria analysis in decision-making process after this type of accident.

Keywords: dose assessment, public exposure, environmental modeling, tropical environments.

## SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABELAS .....	xv
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xvi
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>06</b>
2.1 Objetivo Geral .....	06
2.2 Objetivos Específicos .....	06
<b>3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>07</b>
3.1 Experiências internacionais .....	07
3.2 Experiências nacionais .....	08
3.2.1 Áreas urbanas .....	08
3.2.2 Áreas rurais .....	10
3.3 Características e comportamento ambiental de alguns radionuclídeos .....	13
3.3.1 <sup>137</sup> Cs .....	14
3.3.2 <sup>90</sup> Sr .....	19
3.3.3 <sup>131</sup> I .....	22
3.4 Medidas de proteção e de remediação .....	25
3.4.1 A experiência de Chernobyl (Ucrânia) .....	26
3.4.2 A experiência de Goiânia (Brasil) .....	30
3.4.3 A experiência de Tomsk (Rússia) .....	31
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
4.1 Base de dados: medidas de proteção e de remediação .....	34
4.2 Estabelecimento de cenários .....	36
4.2.1 Ambientes urbanos .....	36
4.2.2 Áreas rurais .....	37
4.3 Simulação das medidas utilizando o SIEM .....	39
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
5.1 Base de dados .....	42
5.2 Simulação de áreas urbanas .....	48
5.2.1 Avaliação comparativa de cenários urbanos .....	48
5.2.2 Simulação das medidas de proteção e de remediação .....	50
5.2.3 Avaliação do efeito do momento de aplicação das medidas .....	55
5.3 Simulação de áreas rurais .....	58

<b>5.3.1 Avaliação comparativa de cenários rurais</b> .....	58
<b>5.3.2 Aplicação de medidas de proteção e de remediação</b> .....	63
a) <sup>137</sup> Cs .....	64
b) <sup>90</sup> Sr .....	71
c) <sup>131</sup> I .....	78
<b>5.3.3. Outros fatores relevantes para a dose recebida pelo público</b> .....	84
<b>5.4 Definição de critérios de classificação para as medidas de proteção e de remediação</b> .....	86
<b>5.4.1 Áreas urbanas</b> .....	87
<b>5.4.2 Áreas rurais</b> .....	92
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	94
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	98



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Taxa de dose por exposição gama em áreas externas de ambientes urbanos em função do tempo .....	09
Figura 3.2. Fatores de transferência para diferentes tipos de solos rurais brasileiros e para países de clima temperado .....	12
Figura 3.3. Esquema do decaimento do $^{137}\text{Cs}$ .....	15
Figura 3.4. Esquema do decaimento do $^{90}\text{Sr}$ .....	20
Figura 3.5. Esquema do decaimento do $^{131}\text{I}$ .....	23
Figura 5.1. Dose integrada em adultos com ocupação integral (24 h/d), devido a uma deposição de $1 \text{ MBq/m}^2$ de $^{137}\text{Cs}$ sem aplicação de medidas .....	49
Figura 5.2. Taxa de dose em adultos com ocupação integral (24 h/d), devido a uma deposição de $1 \text{ MBq/m}^2$ de $^{137}\text{Cs}$ sem aplicação de medidas .....	49
Figura 5.3. Fração da dose total recebida em função do tempo após a deposição .....	50
Figura 5.4. Dose integrada e taxa de dose em adultos com ocupação integral (24 h/d), devido a uma deposição de $1 \text{ MBq/m}^2$ de $^{137}\text{Cs}$ sem aplicação de medidas .....	50
Figura 5.5. Redução percentual na dose integrada devido à remoção de grama, 7 dias após a contaminação .....	51
Figura 5.6. Redução percentual nas doses integradas de 50 anos devido à capina, 7 dias após a contaminação .....	52
Figura 5.7. Redução percentual nas doses integradas de 50 anos devido à remoção da camada de topo do solo, 7 dias após a contaminação .....	52
Figura 5.8. Redução percentual nas doses integradas de 50 anos devido à raspagem de paredes, 7 dias após a contaminação .....	53
Figura 5.9. Redução percentual na dose integrada, devido à raspagem de telhas, em função do momento de aplicação da medida .....	55
Figura 5.10. Redução percentual na dose integrada, devido à raspagem de paredes, em função do momento de aplicação da medida .....	56
Figura 5.11. Redução percentual na dose integrada, devido ao corte de grama, em função do momento de aplicação da medida .....	56
Figura 5.12. Redução percentual na dose integrada, devido à remoção de 5 cm de solo, em função do momento de aplicação da medida .....	57
Figura 5.13. Dose integrada em função do tempo para $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ e $^{131}\text{I}$ , para uma contaminação ocorrendo em diferentes épocas do ano .....	60

Figura 5.14. Contribuição percentual dos alimentos para a dose integrada por $^{137}\text{Cs}$ , em função do tempo, para acidentes ocorrendo em diferentes estações do ano .....	61
Figura 5.15. Contribuição percentual dos alimentos para a dose integrada por $^{90}\text{Sr}$ , em função do tempo, para acidentes ocorrendo em diferentes estações do ano .....	62
Figura 5.16. Contribuição percentual dos alimentos para a dose integrada por $^{131}\text{I}$ , em função do tempo, para acidentes ocorrendo em diferentes estações do ano .....	63
Figura 5.17. Dose integrada de ingestão devido a uma contaminação de 1 kBq de $^{137}\text{Cs}$ na área de referência, em diferentes períodos do ano .....	64
Figura 5.18. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção do consumo de cada item da dieta, uma semana após a contaminação por $^{137}\text{Cs}$ .....	65
Figura 5.19. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção do consumo de carne de boi, uma semana após uma contaminação por $^{137}\text{Cs}$ .....	67
Figura 5.20. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção do consumo de carne de frango, uma semana após uma contaminação por $^{137}\text{Cs}$ .....	67
Figura 5.21. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de leite, uma semana após uma contaminação por $^{137}\text{Cs}$ .....	68
Figura 5.22. Dose por ingestão de leite em crianças com menos de 1 ano, devido a uma contaminação de 1 kBq/m <sup>2</sup> de $^{137}\text{Cs}$ , em diferentes estações do ano .....	69
Figura 5.23. Redução percentual na dose de ingestão de leite em crianças com menos de 1 ano, devido a uma contaminação de 1 kBq/m <sup>2</sup> de $^{137}\text{Cs}$ , para diversos momentos de aplicação da medida, para o caso de um acidente ocorrendo na primavera .....	70
Figura 5.24. Redução percentual na dose de ingestão de leite em adultos, devido a uma contaminação de 1 kBq/m <sup>2</sup> de $^{137}\text{Cs}$ , para diversos momentos de aplicação da medida, para o caso de um acidente ocorrendo na primavera .....	71
Figura 5.25. Dose integrada de ingestão devido a uma contaminação de 1 kBq/m <sup>2</sup> de $^{90}\text{Sr}$ na área de referência, em diferentes períodos do ano .....	72
Figura 5.26. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de cada item da dieta, uma semana após a contaminação por $^{90}\text{Sr}$ .....	73
Figura 5.27. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de carne de boi, uma semana após uma contaminação por $^{90}\text{Sr}$ .....	74
Figura 5.28. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de carne de frango, uma semana após uma contaminação por $^{90}\text{Sr}$ .....	75
Figura 5.29. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de leite, uma semana após uma contaminação por $^{90}\text{Sr}$ .....	75

Figura 5.30. Dose por ingestão de leite em crianças com menos de 1 ano, devido a uma contaminação de 1 kBq/m <sup>2</sup> de <sup>90</sup> Sr, em diferentes estações do ano .....	76
Figura 5.31. Redução percentual na dose de ingestão de leite em crianças com menos de 1 ano, devido a uma contaminação de 1 kBq/m <sup>2</sup> de <sup>90</sup> Sr, para diversos momentos de aplicação da medida, para o caso de um acidente ocorrendo na primavera .....	77
Figura 5.32. Redução percentual na dose de ingestão de leite em adultos, devido a uma contaminação de 1 kBq/m <sup>2</sup> de <sup>90</sup> Sr, para diversos momentos de aplicação da medida, para o caso de um acidente ocorrendo na primavera .....	78
Figura 5.33. Dose integrada de ingestão devido a uma contaminação de 1 kBq/m <sup>2</sup> de <sup>131</sup> I na área de referência, em diferentes períodos do ano .....	78
Figura 5.34. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de cada item da dieta, uma semana após a contaminação por <sup>131</sup> I .....	79
Figura 5.35. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de carne de boi, uma semana após uma contaminação por <sup>131</sup> I .....	80
Figura 5.36. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de frango, uma semana após uma contaminação por <sup>131</sup> I .....	81
Figura 5.37. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de leite, uma semana após uma contaminação por <sup>131</sup> I .....	81
Figura 5.38. Dose por ingestão de leite em crianças com menos de 1 ano, devido a uma contaminação de 1 kBq/m <sup>2</sup> de <sup>131</sup> I, em diferentes estações do ano .....	82
Figura 5.39. Redução percentual na dose de ingestão de leite em crianças com menos de 1 ano, devido a uma contaminação de 1 kBq/m <sup>2</sup> de <sup>131</sup> I, para diversos momentos de aplicação da medida, para o caso de um acidente ocorrendo na primavera .....	83
Figura 5.40. Redução percentual na dose de ingestão de leite em adultos, devido a uma contaminação de 1 kBq/m <sup>2</sup> de <sup>131</sup> I, para diversos momentos de aplicação da medida, para o caso de um acidente ocorrendo na primavera .....	84
Figura 5.41. Contribuição dos alimentos para a dose total de ingestão, integrada em 50 anos, para uma deposição igual dos três radionuclídeos considerados .....	85
Figura 5.42. Contribuição relativa para a dose de ingestão por <sup>137</sup> Cs, integrada em 50 anos, para dois tipos de dieta .....	85
Figura 5.43. Matriz de avaliação estabelecida para o modelo multicritério .....	87

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Radionuclídeos e vias de exposição mais relevantes após o acidente nuclear de Chernobyl .....	14
Tabela 4.1. Taxas de ingestão de produtos agrícolas .....	38
Tabela 5.1. Estrutura da base de dados .....	45
Tabela 5.2. Medidas de proteção/remediação descritas para áreas urbanas .....	46
Tabela 5.3. Medidas de proteção/remediação descritas para áreas rurais .....	47
Tabela 5.4. Medidas de proteção/remediação descritas para ambientes aquáticos .....	48
Tabela 5.5. Eficiência das medidas de proteção e de remediação aplicadas a curto prazo em ambientes urbanos (1 semana) .....	54
Tabela 5.6. Efeito da aplicação das principais medidas para áreas urbanas .....	58
Tabela 5.7. Exemplos de procedimentos para a definição de valores de critérios relativos à eficiência da aplicação da medida em reduzir as doses do primeiro ano e da dose integrada de 50 anos .....	88
Tabela 5.8. Exemplo de aplicação de definição de valores numéricos aos critérios, em relação à eficiência da medida de remediação aplicada a curto prazo (1 semana) .....	89
Tabela 5.9. Exemplos de procedimentos a serem adotados para a definição de valores de critérios relativos à perda de eficiência devido ao atraso na aplicação da medida .....	90
Tabela 5.10. Atributos relacionados aos critérios técnicos e descrição de valores de critérios relacionados à disponibilidade de equipamentos, materiais e serviços .....	91

## LISTA DE SÍMBOLOS

Al – alumínio

Ba – bário

Bq – becquerel

Ci – Curie

cm – centímetro

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

Co – cobalto

Cs – céσιο

d – dia

EBq – exabecquerel

EUA – Estados Unidos da América

Fe – ferro

g – grama

GBq – gigabecquerel

GSF – Centro de Pesquisa do Meio Ambiente e da Saúde (em alemão)

Gy – gray

h – hora

I – iodo

IAEA – Agência Internacional de Energia Atômica (em inglês)

IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria

K – potássio

kBq – quilobecquerel

KERMA – Energia Cinética Liberada por Unidade de Massa (em inglês)

KeV – quiloelétron-Volt

kg – quilograma

km – quilômetro

L – litro

m – metro

MBq – megabecquerel

min – minuto

mL – mililitro

Mn – manganês

mSv – miliSievert

Nb – nióbio

$\text{NH}_4^+$  – íon amônio

pH – potencial hidrogeniônico

Pu – plutônio

Rb – rubídio

rem – Röntgen equivalente em homem (em inglês)

Ru – rutênio

SIEM – Sistema Integrado de Emergência

Sr – estrôncio

TBq – terabecquerel

Xe – xenônio

Y – ítrio

Zr – zircônio

# 1 INTRODUÇÃO

Uma das preocupações atuais no cenário internacional é o estudo das consequências de acidentes envolvendo materiais radioativos e outros eventos que levem à contaminação do meio ambiente e à exposição do público. Os diversos acidentes ocorridos e a atuação das equipes encarregadas da proteção radiológica do público evidenciaram a necessidade de um planejamento prévio para a avaliação da exposição do público e de diretrizes pré-definidas para a aplicação das medidas de proteção e de remediação mais adequadas (IAEA, 1988; 2006).

O uso de modelos computacionais para estimar as concentrações e simular opções de remediação permite a avaliação das situações ou estratégias de recuperação alternativas, no contexto de uma preparação de atuação em emergências ou de uma tomada de decisão. Isso pode ser muito valioso, por exemplo, na seleção de estratégias de remediação através da avaliação da relação custo-benefício para uma situação específica de contaminação. De forma semelhante, o risco potencial da contaminação precisa ser estimado previamente, de modo a desenvolver a tempo um planejamento da melhor alternativa de recuperação de uma área contaminada (THIESSEN *et al.*, 2009a, 2009b). O acidente de Tomsok, em 1993, por exemplo, evidenciou que medidas de proteção e de remediação, aplicadas em um momento de grande pressão popular, podem ser ineficientes na redução de doses para o público e ainda levar a exposições desnecessárias aos trabalhadores envolvidos nos processos de descontaminação (IAEA, 1998).

Diversos institutos vêm trabalhando no sentido de levantar a eficácia das medidas de proteção e de remediação em relação à redução de doses no público, em particular, o GSF (Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit), na Alemanha (MÜLLER & PRÖHL, 1993), o Risos National Laboratories, na Dinamarca (ROED, 2003) e o NRPB na Inglaterra (CHARNOCK *et al.*, 2003; NISBET *et al.*, 2004), além de outros oriundos de países mais afetados pelo acidente de Chernobyl, como a Rússia, a Bielorrússia e a Ucrânia (IAEA, 2006).

No Brasil, o acidente de Goiânia, em 1987 (IAEA, 1988), despertou para a necessidade de haver um planejamento prévio em relação a esses tipos de medidas (ROCHEDO *et al.*, 2000). Naquele momento, apesar de já existir no IRD um grupo de emergência para atuar em situações de acidente, muito pouco recurso havia disponível para efetuar a avaliação das consequências a longo prazo relacionadas ao

comportamento dos radionuclídeos no meio ambiente e para a exposição do público (AMARAL *et al.*, 1991b). A aceitação do público e de seus representantes dificultou a introdução de critérios e de metodologias por causa da pouca disponibilidade de recursos após o acidente (ALVES *et al.*, 1998; HEALTH PHYSICS, 1991; IAEA, 2006, 1998; ROCHEDO *et al.*, 1991; ROSENTHAL *et al.*, 1991; TRANJAN FILHO & RABELLO, 1998).

Desde então, vêm sendo desenvolvidas no IRD ferramentas de apoio a processos de tomada de decisão em decorrência de acidentes nucleares e/ou radiológicos com o objetivo de proteger o público, que envolvam sua exposição e a contaminação do meio ambiente.

Em 1989, um projeto de pesquisa foi iniciado, com o apoio da IAEA e do instituto alemão GSF, com o objetivo de estudar o comportamento ambiental do  $^{137}\text{Cs}$  no ambiente urbano de Goiânia (AMARAL *et al.*, 1991a; PIRES DO RIO *et al.*, 1994). À medida que resultados deste projeto se tornavam disponíveis, decidiu-se dar início ao desenvolvimento de ferramentas que permitissem a avaliação das doses no público, incluindo previsões de curto, médio e longo prazos, de forma a dar apoio ao processo de decisão (ROCHEDO *et al.*, 1996, 1991, 2008).

O projeto de modelagem ambiental teve início com o desenvolvimento do código CORAL, baseado no modelo alemão ECOSYS, desenvolvido pelo GSF. Atualmente, o ECOSYS é utilizado por diversos países no mundo e, em particular pelos países europeus, com o objetivo de avaliar as consequências de uma possível contaminação acidental de áreas rurais em curto, médio e longo prazos (BUNR, 2000; MÜLLER & PRÖHL, 1993).

Em seguida, foi desenvolvido no IRD, em conjunto com o mesmo GSF, o modelo PARATI, baseado em informações levantadas após os acidentes de Goiânia e de Chernobyl, para a avaliação da exposição do público devido à contaminação de  $^{137}\text{Cs}$  em áreas urbanas (ROCHEDO *et al.*, 1998, 1997, 1996). Este modelo já incluiu a possibilidade de simular a aplicação de medidas de proteção e de remediação e sua eficácia na redução de doses para o público.

A integração desses modelos, bem como a de outros específicos para a fase inicial e a de modelos genéricos recomendados pela IAEA, foi efetuada pela equipe de modelagem ambiental no IRD, tendo sido criado o SIEM (Sistema Integrado de Emergência) (CONTI, 2002; CONTI *et al.*, 2002). O SIEM também incorporou dados padronizados relativos ao comportamento físico dos radionuclídeos e fatores de



conversão de dose (ECKERMAN & RYMAN, 1993; IAEA, 1996). Este modelo permite a avaliação da eficácia das diversas opções de medidas de proteção e de remediação na redução de doses para o público, de acordo com o momento de sua aplicação e do cenário de acidente simulado.

Após o desenvolvimento do SIEM, foram feitas adaptações nos modelos, com o objetivo de melhorar os dados de saída obtidos pelo programa. Essas alterações foram efetuadas considerando características típicas de áreas tropicais, tais como tipo de solo, tipo de construção das habitações, dieta, épocas de plantio e de colheita e hábitos agropecuários. Essas adaptações foram efetuadas em três etapas:

- 1) O modelo CORAL foi adaptado para utilização no Brasil, em particular, para a região dentro de um raio de 50 km em torno da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, em Angra dos Reis (VINHAS, 2004; VINHAS *et al.*, 2005), sendo esta área de estudo selecionada também para este trabalho;
- 2) O modelo PARATI foi adaptado a fim de ser utilizado para outros radionuclídeos relevantes em caso de acidentes nucleares (VETERE *et al.*, 2002, 2001).
- 3) O modelo PARATI foi também adaptado para simular residências brasileiras, considerando os fatores de blindagem levantados especificamente para o Brasil (SALINAS, 2006; SALINAS *et al.*, 2006a, 2006b).

De forma a evitar a repetição das experiências negativas e considerando a grande quantidade de dados disponíveis na literatura contendo a descrição de medidas de proteção e de remediação, vários países vêm desenvolvendo diversos trabalhos. O principal objetivo dessas pesquisas é desenvolver uma base de dados a ser utilizada após um evento que leve à contaminação do meio ambiente, de forma a dar suporte a processos de tomada de decisão baseada em métodos multicritério (SCHENKER-WICKI, 1988; ZEEVAERT *et al.*, 2001).

Procedimentos de análise multicritério vêm sendo utilizados para apoio a processos de decisão em diversas áreas (MARTINS, 2009; MENEZES, 2008), onde o sistema de decisão é complexo e envolve alternativas conflitantes e incomensuráveis.

Desta forma, foi decidido, pelo grupo de modelagem ambiental do IRD, dar extensão aos trabalhos desenvolvidos no IRD para apoio a situações de emergência, através do levantamento de medidas de proteção e de remediação e do efeito de sua aplicação a diversos momentos após a contaminação inicial. Dentro deste contexto,

optou-se por estabelecer uma base de dados que permitisse sua aplicação em um modelo multicritério de tomada de decisão. Este trabalho envolve diversas etapas, desde a definição dos parâmetros a serem incluídos na análise, o levantamento de dados para alimentar um modelo de seleção de medidas de proteção e de remediação por método multicritério, até o desenvolvimento do modelo em si.

Como primeira etapa, levando-se em conta o perfil do IRD, foi decidido estudar as medidas de proteção e de remediação possíveis de serem aplicadas a diferentes tipos de ambientes, avaliar seu efeito na redução das doses ao público e discutir o estabelecimento de critérios de classificação dessas medidas, sob o ponto de vista da radioproteção ambiental.

Como será visto mais adiante, a descrição da eficiência das medidas de proteção e de remediação é normalmente apresentada como a redução obtida nas concentrações dos ambientes onde elas são aplicadas. No entanto, para um processo de decisão após um evento de contaminação, a simples redução nas concentrações não é um parâmetro adequado. Decisões têm que ser tomadas em relação à redução das doses recebidas pelas pessoas. De forma a verificar a eficiência em termos de redução das doses, foi preciso então realizar um estudo prévio de simulação das possíveis medidas descritas na literatura, com o objetivo de estimar as reduções nas doses, a partir da redução das concentrações nos diferentes ambientes.

Devido à grande complexidade de acidentes e de cenários de exposição possíveis, é importante que sejam estabelecidos alguns cenários padronizados para efetuar a simulação, com o objetivo de avaliar a eficácia da aplicação das medidas, de forma a avaliar o comportamento ambiental e a consequente exposição de pessoas em diferentes momentos após a contaminação. Esses fatos vêm a ser o objeto de estudo desta dissertação.

Acidentes que levam a uma contaminação do meio ambiente podem afetar bastante a rotina de vida de populações locais e regionais. Riscos, tamanho e tipo de área contaminada, número de pessoas potencialmente expostas e opinião pública são difíceis de serem controlados de maneira adequada sob a forte pressão da sociedade após estes acidentes. Processos de tomada de decisão se tornam extremamente frágeis, e, em várias ocasiões, levaram à implantação de medidas não justificadas sob o ponto de vista da radioproteção. As consequências incluem custos elevados sem um benefício proporcional e exposição de trabalhadores envolvidos na emergência, levando à conclusão de que é importante que se tenha uma diretriz sólida e critérios bem definidos

antecipadamente. Além disso, processos de otimização são muito difíceis de serem elaborados após um acidente, uma vez que muitas informações necessárias não estarão disponíveis de forma imediata (ALVES *et al.*, 1998; IAEA, 2006, 1998; ROCHEDO, 2000; ROSENTHAL *et al.*, 1991; TRANJAN FILHO & RABELLO, 1998). A abordagem por análise multicritério, por sua vez, vem sendo citada como uma ferramenta muito eficiente a ser utilizada como suporte do processo de tomada de decisão em diversas áreas, inclusive na proteção radiológica após acidentes (ZEEVAERT *et al.*, 2001). Com este método, os critérios podem ser definidos previamente levando a uma seleção de opções que sejam tecnicamente justificadas, tornando ainda o processo de decisão mais confiável e transparente. Esses aspectos são relevantes para a aceitação pública das decisões tomadas e das medidas de proteção e de remediação adotadas (SCHENKER-WICKI, 1988).

Dentro deste processo, diversos fatores podem ser considerados de forma simultânea, em particular quando aspectos conflitantes e de difícil quantificação estão envolvidos, como é o caso após um acidente, onde aspectos radiológicos, econômicos e sociais devem ser levados em conta para que se obtenha um procedimento otimizado de atuação.

A descrição das medidas de proteção e de remediação deve, portanto, seguir um padrão que permita avaliar suas consequências sob diferentes pontos de vista. Neste trabalho, foram selecionados critérios relacionados a aspectos de radioproteção, incluindo indicação de custos genéricos relacionados à sua aplicação. Os custos específicos serão altamente dependentes do local e do momento em que ocorra um acidente, em função dos recursos disponíveis e, para o caso de áreas rurais, do estágio de cultivo de produtos, bem como do potencial da área para incorporar cada medida de forma eficiente. Aspectos sociais e de aceitação pública também serão altamente dependentes das condições das áreas afetadas. Desta forma, apenas aqueles aspectos que afetem diretamente a população devem ser incluídos na base de dados, sendo que os subjetivos deverão ser incluídos na análise no momento da tomada de decisão.

O trabalho deve ser planejado de forma a contemplar o papel da CNEN no processo decisório após um acidente nuclear e/ou radiológico, que é aquele de dar apoio às autoridades responsáveis pela decisão, fornecendo de forma clara e eficiente informações radiológicas que deverão ajudar no processo de tomada de decisão.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é avaliar qualitativa e quantitativamente o efeito das medidas de proteção e de remediação na redução da dose para o público, em casos de acidentes envolvendo materiais radioativos. Para isso, serão levados em conta fatores relativos a clima e a hábitos de uso de ambientes tipicamente tropicais, em função do tempo.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Efetuar o levantamento da experiência internacional sobre aplicação de medidas de proteção para o público e de remediação de áreas contaminadas após um evento de emergência nuclear e/ou radiológica e elaborar uma base de dados;
- Desenvolver uma base de dados que permita dar suporte a um processo de tomada de decisão em âmbito nacional, baseado no tipo de acidente e no tipo de ambiente afetado, incluindo o efeito na dose em membros do público, em função do momento de aplicação da medida;
- Definir alguns cenários básicos típicos da região de estudo selecionada (município de Angra dos Reis), utilizando, sempre que possível, informações nacionais. Isso é necessário para a realização das simulações, as quais serão utilizadas para avaliar o efeito das medidas de proteção e de remediação na redução de doses no público a curto, médio e longo prazos, em função da variação do momento de aplicação e cada medida;
- Efetuar simulações, levando em conta as informações relacionadas à eficiência das medidas para áreas urbanas e para áreas rurais, e estabelecer critérios de classificação, em função do momento de sua aplicação, a fim de serem aplicados em um modelo multicritério de tomada de decisão; e,
- Desenvolver as etapas iniciais do modelo conceitual para uma futura realização da análise multicritério.

### **3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Diversos trabalhos foram publicados sobre a eficiência de medidas de proteção e de remediação em casos de contaminação acidental, particularmente após o acidente de Chernobyl. Algumas instituições, como, por exemplo, a IAEA, financiaram grandes projetos voltados para a recuperação das áreas afetadas por este acidente, bem como projetos relacionados à avaliação das medidas adotadas. Também foram desenvolvidos trabalhos relacionados a outros acidentes de menor porte, como, por exemplo, os acidentes de Tomsk e de Goiânia. Adicionalmente, trabalhos de pesquisa vêm sendo desenvolvidos em diversos países, voltados para o levantamento de informações relacionadas à aplicação de medidas específicas e de levantamento de parâmetros ambientais que permitam a simulação da dose efetiva na população após um acidente nuclear e/ou radiológico. Os principais projetos e pesquisas serão resumidos adiante.

#### **3.1 Experiências internacionais**

A Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) vem desenvolvendo diversos estudos visando a obter uma lista de medidas de proteção e de remediação passíveis de serem implantadas em caso de acidente nuclear e/ou radiológico. Por exemplo, para a contaminação de áreas rurais, existe uma publicação que lista as principais medidas aplicadas na Europa, em curto prazo após o acidente de Chernobyl (IAEA, 1994). Para a contaminação de áreas urbanas, um consenso da experiência internacional está em fase de publicação, no relatório final do projeto EMRAS (THIESSEN *et al.*, 2008), embora alguns trabalhos avulsos, tanto como parte deste projeto já tenham sido publicados (KAMBOJ *et al.*, 2009; THIESSEN *et al.*, 2009a, 2009b), como a partir de trabalhos de pesquisa sobre descontaminação de superfícies (AMMANN, 2006; ANDERSSON, 1996; ANDERSSON *et al.*, 2002; ANDERSSON & ROED, 2006; JONES *et al.*, 2006; ROED *et al.*, 2006; ROED & ANDERSSON, 1996; ROED & JACOB, 1990), além daquelas publicações já citadas anteriormente (IAEA, 2006, 1988).

Diversos países vêm também organizando bases de dados com medidas de proteção e de remediação, além de metodologias de avaliação de dose, incluindo o efeito da aplicação dessas medidas (ANDERSSON *et al.*, 2008, 2003; BUNR, 2000; IAEA, 2006, 1994; NISBET *et al.*, 2008). Estes estudos, no entanto, abordam medidas

aplicadas em países de clima temperado, principalmente relacionados à experiência adquirida após o acidente de Chernobyl. O estudo mais completo para áreas urbanas é o desenvolvido por ANDERSSON *et al.* (2003), onde são listadas 59 medidas de proteção e de remediação, considerando os seguintes aspectos:

- Objetivos da medida e principais benefícios;
- Descrição da medida e resumo de como pode ser implantada;
- Tipo de área e superfície-alvo, radionuclídeos e tipo de exposição;
- Escala de aplicação e indicação do tamanho da área em que vale a pena aplicar a medida, considerando o momento em que a medida será eficaz;
- Restrições à aplicação da medida (restrições técnicas, ambientais e legais);
- Efetividade (definida como a redução da contaminação ou na taxa de dose), doses adicionais nos trabalhadores responsáveis pela aplicação da medida, fatores técnicos e sociais que afetem a efetividade;
- Necessidades específicas de equipamentos, materiais, treinamento e precauções de segurança;
- Tipo e quantidade de rejeito gerado por unidade de área tratada;
- Indicação de custos, inclusive tempo de mão de obra e fatores que influenciam os custos, inclusive impactos econômicos, ambientais e sociais;
- Experiência prática de aplicação da medida e referências bibliográficas.

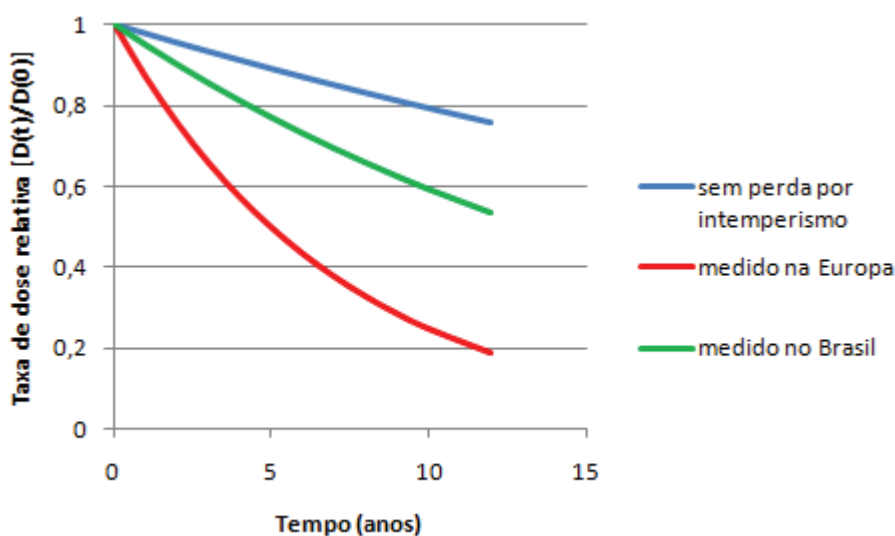
Para áreas rurais, a referência mais específica é a da IAEA (1994), em que as medidas são descritas apenas de forma genérica, em função do tipo de meio ambiente ao qual ela foi aplicada e da consequente redução na atividade dos diversos produtos de origem vegetal e animal.

## **3.2 Experiências nacionais**

### ***3.2.1 Áreas urbanas***

Após o acidente de Goiânia, em 1987, foi mantido, por cerca de 10 anos, um programa de monitoramento ambiental da área urbana de Goiânia. Os resultados deste acompanhamento mostraram que o comportamento ambiental do césio em um ambiente tropical pode ser bastante diferente daquele observado em países de clima temperado. Um exemplo pode ser visto na Figura 3.1, que mostra as medidas de decaimento da taxa

de dose externa, obtida em países de clima temperado, após o acidente de Chernobyl (medido na Europa), e os valores obtidos em Goiânia (medido no Brasil) (ROCHEDO *et al.*, 2000). A mesma figura mostra os valores considerados, à época do acidente, para a derivação de níveis de intervenção, que levou em consideração o decaimento natural da concentração inicial dos radionuclídeos na área afetada sem incluir os efeitos da perda por intemperismo, uma vez que naquele momento não existiam dados do efeito do intemperismo relacionados a áreas urbanas disponíveis na literatura.



**Figura 3.1. Taxa de dose por exposição gama medida em áreas externas de ambientes urbanos em função do tempo, relativa à exposição inicial no mesmo local (ROCHEDO *et al.*, 2000).**

Pode ser observado que a falta de conhecimento sobre o comportamento de céσιο em um ambiente urbano levou ao uso de hipóteses muito conservativas, uma vez que os valores de taxa de dose observados foram muito inferiores àqueles assumidos para gerar níveis de intervenção. Por outro lado, se, naquele momento os dados europeus já estivessem disponíveis, estes poderiam ter sido usados e as doses reais teriam sido subestimadas, uma vez que a meia-vida de intemperismo observada naqueles países foi inferior àquela observada em Goiânia (ROCHEDO, 2000; ROCHEDO *et al.*, 2000). Estes resultados demonstraram a necessidade de desenvolver estudos para o levantamento de dados adequados a áreas urbanas de clima tropical.

As características das residências em um país dependem muito do clima. Casas em países quentes costumam ser construções menos densas e muito mais ventiladas do

que nos países de clima mais frio, o que será refletido na quantidade de blindagem contra a radiação que elas fornecem. Além disso, a riqueza é outro fator que influencia o acabamento da construção. Os dados disponíveis na literatura estão mais voltados para moradias típicas de países de clima frio.

Um estudo realizado no IRD (SALINAS *et al.*, 2007, 2006a, 2006b) teve como objetivo determinar os fatores de blindagem para materiais de construção típicos da região sudeste do Brasil. Os valores dos parâmetros para os materiais de construção foram levantados e os coeficientes de atenuação foram medidos experimentalmente. Fatores de blindagem foram então obtidos por simulação com o código de computador MCNP5 Monte Carlo, para três padrões diferentes de residência, que vão desde as casas mais simples (casa de alvenaria sem acabamento) até aquelas com uma estrutura muito complexa (alvenaria com emboço e reboco duplo).

O fator de blindagem, definido como a relação entre o kerma no ar interior para o kerma no ar em campo aberto, para o tipo de casa mais simples pode ser até duas vezes superior ao de uma casa com bom acabamento, para a mesma energia de radiação. Também foi observado que, devido à estrutura dos prédios e do material de construção utilizado em casas pertencentes a áreas de clima tropical, há uma menor proteção à exposição nessas casas quanto ao material radioativo depositado ao ar livre, quando comparados com casas semelhantes em áreas de clima temperado (SALINAS *et al.*, 2006a, 2006b).

### 3.2.2 Áreas rurais

Foi visto que o estudo do comportamento dos radionuclídeos em áreas rurais é de interesse para a simulação de acidentes. Interações entre os radionuclídeos e o solo dependem da forma química do elemento e de algumas propriedades do solo como pH, composição mineralógica, teor de matéria orgânica e *status* nutricional. A absorção de radionuclídeos dependerá não somente dessas interações, como também das características metabólicas e fisiológicas das espécies cultivadas. Um maior conhecimento da mobilidade dos radionuclídeos no solo é necessário para avaliar os riscos potenciais das entradas de radionuclídeos na cadeia alimentar.

Em sistemas agrícolas, o fator de transferência solo-planta (TF) é o parâmetro que descreve numericamente as interações dos compartimentos ambientais do solo e da planta (FRISSEL *et al.*, 2002; WASSERMAN, 2009; WASSERMAN *et al.*, 2008a,



2008b, 2002b). TFs são definidos como a razão entre as atividades na parte comestível da planta, expressa em Bq/kg, em peso seco, e a camada de 20 cm de topo do solo, também expressa em Bq/kg, em peso seco, conforme recomendação da União Internacional de Radioecologistas (IUR, 1989).

No início dos anos 90, teve início no IRD o projeto chamado “Radioecologia Tropical”, o qual verificou que os dados de fator de transferência para o Brasil podem ser bastante diferentes daqueles encontrados na literatura, na sua maioria provenientes de países de clima temperado (WASSERMAN, 1998; WASSERMAN *et al.*, 1999; WASSERMAN & BELÉM, 1996). Em seguida, o projeto de modelagem se juntou ao projeto Radioecologia Tropical a fim de criar uma base de dados sobre os parâmetros adequados de transferência ambiental para a sua utilização em países de clima tropical (ROCHEDO *et al.*, 2001; ROCHEDO & WASSERMAN, 2000).

O Projeto de Radioecologia Tropical gerou dados sobre os fatores de transferência de alguns radionuclídeos, principalmente  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  e  $^{90}\text{Sr}$ , para as plantas de referência em uma série de sistemas de solo típicos das áreas agrícolas brasileiras. Vários experimentos ambientais foram realizados com o intuito de fornecer parâmetros para os modelos de avaliação do impacto ambiental relacionados com as condições do solo brasileiro e contribuir para a identificação dos ecossistemas que são mais sensíveis à contaminação radioativa (FRISSEL *et al.*, 2002; WASSERMAN *et al.*, 2002a, 2002b, 2001).

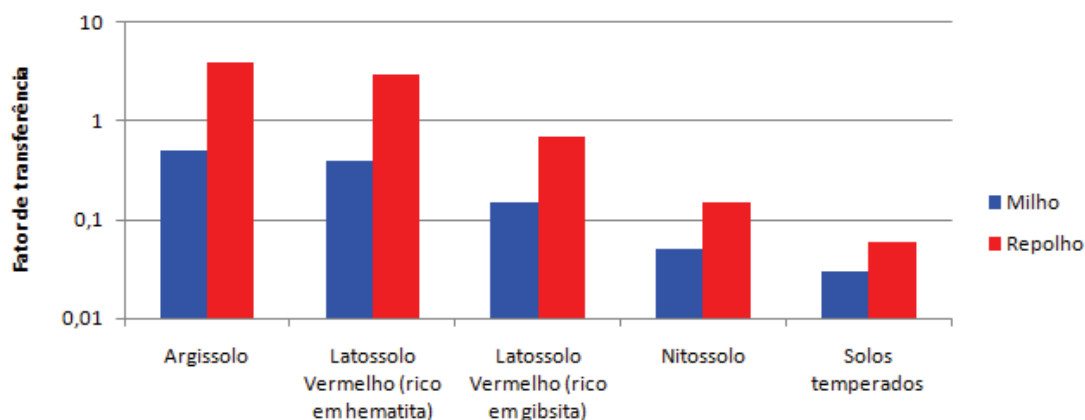
Após 15 anos de estudo envolvendo os diferentes tipos de solos tropicais e os diferentes radionuclídeos, tais como  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{60}\text{Co}$ , pode ser vista a relevância do conhecimento de dados específicos para o local a fim de serem utilizados em avaliações de impacto ambiental e em tomadas de decisão após uma contaminação acidental. É importante destacar que estas avaliações devem ser baseadas no conhecimento dos processos ambientais que regem o comportamento a longo prazo de radionuclídeos em um determinado tipo de ambiente (WASSERMAN, 2009).

A compreensão dos mecanismos e dos processos que influenciam a transferência e a biodisponibilidade de substâncias radioativas nos ecossistemas ainda é um assunto importante para a investigação no domínio da radioecologia. Estudos sobre o acidente de Chernobyl contribuíram para uma melhor compreensão do comportamento dos radionuclídeos artificiais em solos de clima temperado, fornecendo informações consistentes para a gestão de áreas rurais contaminadas. No entanto, esses estudos radioecológicos efetuados em zonas tropicais mostraram que alguns ecossistemas

apresentam condições adequadas para uma maior absorção de radionuclídeos pelas plantas. Em alguns casos, a acidez do solo, a abundância de hidróxidos e óxidos de Al e Fe, e baixo nível de fertilidade do solo foram citados como as prováveis causas do aumento da transferência do  $^{137}\text{Cs}$  do solo para as plantas (WASSERMAN, 2009).

Neste contexto, os solos brasileiros são particularmente interessantes para esse tipo de estudo, já que mais de 60% deles exibem tais propriedades. Sabe-se que o Latossolo e o Argissolo são predominantes no território brasileiro e, além de serem altamente intemperizados, ocupam áreas extensivamente cultivadas (COELHO *et al.*, 2002). Ambos representam reservatórios naturais importantes de nutrientes, com grande potencial no contexto de produção de alimentos (WASSERMAN, 2009).

Alguns resultados do Projeto de Radioecologia Tropical desenvolvido no IRD são mostrados na Figura 3.2, onde os fatores de transferência solo-planta para o  $^{137}\text{Cs}$  em diferentes tipos de culturas e de solos agrícolas tipicamente brasileiros são comparados com valores da literatura para países de clima temperado (IUR, 1989). Estes resultados mostram que alguns solos agrícolas brasileiros podem ser muito sensíveis à contaminação radioativa com  $^{137}\text{Cs}$  (WASSERMAN *et al.*, 2002a).



**Figura 3.2. Fatores de transferência determinados para milho e para repolho em diferentes tipos de solos agrícolas brasileiros (WASSERMAN *et al.*, 2002a) comparados com dados médios obtidos e para países de clima temperado (IUR, 1989).**

Os resultados gerais deste projeto mostram que as propriedades químicas e físicas de um solo, juntamente com as práticas agrícolas, uma vez que estas modificam as primeiras, podem afetar fortemente a absorção pelas plantas de radionuclídeos

presentes nos solos. Atualmente, o foco principal do projeto é o estudo do comportamento desse material sob diferentes condições ambientais, a fim de não só apoiar a modelagem ambiental, como também fornecer informações para o processo de tomada de decisão, indicando os procedimentos que seriam eficazes, de acordo com o tipo de solo e de radionuclídeo em, por exemplo, reduzir a mobilidade no sistema solo-planta, relacionada com as culturas e os tipos de solo mais abundantes no Brasil (WASSERMAN *et al.*, 2008a, 2008b, 2006, 2005, 2004, 1999).

Alguns experimentos também foram conduzidos no laboratório de pesquisa da CNEN em Poços de Caldas para levantar fatores de translocação para culturas típicas nacionais, em apoio ao Projeto de Radioecologia Tropical (MACACINI *et al.*, 2002). Os resultados destes estudos foram incorporados ao SIEM (VINHAS *et al.*, 2002).

### **3.3 Características e comportamento ambiental de alguns radionuclídeos:**

Uma estimativa efetuada na Rússia após o acidente de Chernobyl gerou os resultados apresentados na Tabela 3.1 (BALONOV *et al.*, 1996). De acordo com esta tabela, podemos observar que os principais radionuclídeos que contribuíram para doses nas diferentes populações expostas foram os produtos de fissão  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$  e  $^{144}\text{Cs}$ , além dos gases nobre e de elementos transurânicos.

Para este estudo, foram priorizados os radionuclídeos  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{131}\text{I}$  devido à sua relevância para a dose no público e também por existirem dados disponíveis na literatura para sua avaliação. Tais dados dizem respeito ao comportamento desses radionuclídeos no meio ambiente, em virtude de terem sido liberados tanto pelos testes atômicos atmosféricos quanto em diversos acidentes nucleares no mundo. Em particular, para o Brasil, existem dados de césio para contaminação de áreas urbanas e rurais e dados de estrôncio apenas para ambientes rurais, conforme descrito no item anterior. Desta forma, pode-se afirmar que  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{131}\text{I}$  apresentam uma importância muito grande na área radiológica.

Considerando as diferenças entre o reator de Chernobyl e os reatores do tipo PWR, seria também relevante estudar o comportamento do iodo em ambientes rurais nacionais e do rutênio em ambientes urbanos e rurais, considerando sua relevância para as doses a curto e médio prazos, conforme apresentado na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1. Radionuclídeos e vias de exposição mais relevantes após o acidente nuclear de Chernobyl (BALONOV *et al.*, 1996).**

População Exposta	Tempo após o Acidente (d)	Exposição Externa		Exposição Interna	
		$\beta$	$\gamma$	Inalação	Ingestão
População Evacuada	1-11	$^{106}\text{Ru} / \text{Rh}$ $^{144}\text{Ce} / \text{Pr}$ $^{132}\text{Te} / \text{I}$	$^{132}\text{Te} / \text{I}$ $^{131}\text{I}$ Xe, Kr	$^{131}\text{I}, ^{133}\text{I}$ $^{132}\text{Te} / \text{I}$ Pu, Am, Cm	$^{131}\text{I}$ $^{132}\text{Te} / \text{I}$ $^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$
População em Áreas Contaminadas	< 100	$^{106}\text{Ru} / \text{Rh}$ $^{132}\text{Te} / \text{I}$	$^{132}\text{Te} / \text{I}$ $^{131}\text{I}$ $^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$	$^{131}\text{I}$ Pu, Am, Cm	$^{131}\text{I}$ $^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$ $^{89}\text{Sr}$
	> 100	-	$^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$ $^{106}\text{Ru} / \text{Rh}$	$^{106}\text{Ru} / \text{Rh}$ $^{144}\text{Ce} / \text{Pr}$ Pu, Am, Cm	$^{134}\text{Cs}, ^{137}\text{Cs}$ $^{90}\text{Sr} / \text{Y}$

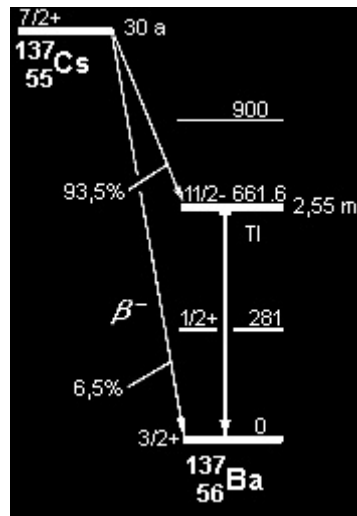
### 3.3.1 $^{137}\text{Cs}$

O  $^{137}\text{Cs}$  é um metal alcalino instável de número atômico 55, que foi descoberto no final da década de 1930 por Glenn T. Seaborg e Margaret Melhase. Constitui-se no radioisótopo mais comum do céσιο, que também apresenta a forma instável de  $^{134}\text{Cs}$ ; entretanto, o  $^{137}\text{Cs}$  é muito mais significativo como contaminante ambiental (EPA, 2010).

A meia-vida do  $^{137}\text{Cs}$  é de aproximadamente 30 anos, sendo produzido quando átomos de urânio ou de plutônio absorvem nêutrons e se fissionam. Este fenômeno cria inúmeros produtos de fissão, dentre os quais se destaca por ser um dos principais (EPA, 2010).

O decaimento do  $^{137}\text{Cs}$  ocorre pela emissão de uma partícula beta, dando origem ao  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ , o qual apresenta uma meia-vida de 2,55 minutos e emite raios gama com

energia de aproximadamente 662 KeV para liberar o excesso de energia, transformando-se numa forma estável do bário (Figura 3.3).



**Figura 3.3. Esquema do decaimento do  $^{137}\text{Cs}$ .**

O  $^{137}\text{Cs}$  não é naturalmente encontrado no meio ambiente. Quando isso ocorre, é necessário descobrir a origem desse radionuclídeo. Geralmente a principal fonte de contaminação do  $^{137}\text{Cs}$  no meio ambiente provém de deposições oriundas de testes nucleares atmosféricos realizados entre as décadas de 1950 e 1960, os quais foram os responsáveis por dispersar o  $^{137}\text{Cs}$  por toda a superfície terrestre (EPA, 2010).

Devido a essa gradativa deposição, a população mundial se encontra exposta a quantidades muito pequenas de  $^{137}\text{Cs}$  presentes no solo e na água, sendo que a dose média anual a partir dessa exposição tende a diminuir ao longo dos anos, em consequência do seu decaimento.

Outras fontes artificiais que deram origem ao  $^{137}\text{Cs}$  no meio ambiente são os rejeitos radioativos provenientes de reatores nucleares e os acidentes envolvendo materiais radioativos, tais como o acidente de Chernobyl, na Ucrânia. Numa menor proporção, os rejeitos originados a partir do reprocessamento do combustível nuclear também contribuem para a presença de  $^{137}\text{Cs}$  no meio ambiente. Devido à natureza química do céσιο, ele migra facilmente pelo ambiente, tornando difícil sua remediação (EPA, 2010).

O público pode ser exposto ao  $^{137}\text{Cs}$  de diversas formas. A exposição externa ocorre principalmente devido ao contato direto ou indireto com o solo e com outras superfícies contaminadas. Neste caso, a exposição se deve principalmente à radiação

gama do decaimento do  $^{137m}\text{Ba}$ . A exposição interna ao  $^{137}\text{Cs}$  geralmente acontece quando o indivíduo inala poeira proveniente de ressuspensão do solo contaminado, bebe água contaminada ou ingere alimento contaminado, isto é, alimento cultivado em solo contaminado por este radionuclídeo (EPA, 2010). Neste caso, tanto as radiações beta quanto as radiações gama contribuem de forma significativa para a exposição.

Quando o  $^{137}\text{Cs}$  é absorvido pelo corpo, ele se distribui uniformemente por todos os tecidos moles, resultando em exposição não só desses tecidos, como também daqueles que se situam nas suas proximidades. Concentrações ligeiramente maiores deste metal são encontradas nos músculos, no fígado e nos rins, enquanto que concentrações menores estão nos ossos e no tecido adiposo (IAEA, 1994).

Devido à sua função de receber impulsos nervosos, de contração e de relaxamento, o tecido muscular é caracterizado por células altamente polarizadas, e essa polarização é conferida pela presença da bomba sódio-potássio. Conseqüentemente, existe uma alta concentração de sódio e de potássio nesse tecido, fazendo com que o  $^{137}\text{Cs}$ , pertencente à mesma família de ambos os elementos, atue como um competidor deles pelo mesmo substrato. Desta forma, a concentração de  $^{137}\text{Cs}$  também tende a ser maior nos músculos, uma vez que ele compartilha as mesmas características químicas com o sódio e o potássio, principalmente este último (COUGHTREY & THORNE, 1983).

Uma vez ingerido, a absorção do  $^{137}\text{Cs}$  ocorre rapidamente no intestino, e assim ele é transferido para a carne e para o leite, embora haja variações entre as espécies animais. Em animais monogástricos, tais como porcos e ruminantes lactentes, a absorção de  $^{137}\text{Cs}$  ocorre de forma completa, enquanto que em ruminantes adultos, a absorção é cerca de 70-85% (COUGHTREY & THORNE, 1983). A absorção também depende da forma química do  $^{137}\text{Cs}$  presente no ambiente (IAEA, 1994).

Fatores de transferência do  $^{137}\text{Cs}$  para o leite e para a carne são geralmente menores para animais de grande porte, tais como o gado bovino, onde são encontrados valores da ordem de  $8 \times 10^{-3}$  d/L para leite e  $5,1 \times 10^{-2}$  d/kg para carne, do que para animais de pequeno porte, como ovelhas e cabras, onde os valores encontrados são da ordem de  $1,0 \times 10^{-1}$  d/L para leite e  $2,3 \times 10^{-1}$  d/kg para carne. Pequenos ruminantes, tais como cabra e ovelhas, geralmente acumulam níveis mais altos de radionuclídeos do que o gado bovino quando pastam no mesmo local. Por exemplo, os níveis de  $^{137}\text{Cs}$  no leite e na carne chegam a ser de duas a cinco vezes maiores. Concentrações da atividade do  $^{137}\text{Cs}$  em animais jovens também são geralmente altas, comparadas com aquelas em

adultos para o mesmo consumo diário de  $^{137}\text{Cs}$ . Os fatores de transferência para a carne aviária e para ovos são relativamente altos, sendo reportados valores de 12 d/kg para aves (IAEA, 1994).

Comparado com outros radionuclídeos, o  $^{137}\text{Cs}$  permanece no corpo dos seres vivos por pouco tempo, pois ele apresenta uma meia-vida biológica curta, sendo eliminado principalmente pela urina. Todavia, os valores são diferentes para cada espécie animal. Para o gado bovino, por exemplo, a meia-vida biológica chega a 29 dias, enquanto que para ovelhas e cabras, o valor está entre 14 a 18 dias. No leite, este valor é comparativamente baixo, e os níveis de  $^{137}\text{Cs}$  neste alimento respondem rapidamente a mudanças no nível de contaminação na dieta. Após um evento pontual de contaminação, os níveis de  $^{137}\text{Cs}$  no leite de vacas que pastam atingirão um valor máximo de 3 a 5 dias. Durante uma absorção contínua, os níveis de  $^{137}\text{Cs}$  no leite dessas vacas se estabilizam após cerca de 3 semanas e cerca de 5 a 12% do  $^{137}\text{Cs}$  ingerido diariamente será secretado pelo leite (IAEA, 1994).

No leite, o  $^{137}\text{Cs}$  tende a permanecer na fase aquosa; portanto, as concentrações na manteiga, na nata e no queijo são comparativamente baixas em relação às do soro. As concentrações da atividade no queijo dependem de como ele é fabricado. Por exemplo, o queijo produzido com leite de cabra, o qual é feito com soro, apresenta altos níveis de  $^{137}\text{Cs}$  (IAEA, 1994).

No que diz respeito a peixes e a outros alimentos provenientes de água doce, a contaminação não costuma ser um problema para a dose por ingestão, pois, em geral, os radionuclídeos rapidamente são imobilizados por sedimentos do fundo desses sistemas; além disso, a contaminação pode estar limitada a partes não comestíveis desses animais. No entanto, a ingestão de peixes de água doce contaminados com  $^{137}\text{Cs}$  pode ser uma fonte significativa de dose, uma vez que ele se distribui em todos os tecidos moles do animal (COUGHTREY & THORNE, 1983).

A biodisponibilidade de  $^{137}\text{Cs}$  no solo depende de vários fatores. Sais de céσιο são muito solúveis e, portanto, espera-se que o  $^{137}\text{Cs}^+$  esteja prontamente disponível para plantas. Entretanto, na maioria dos solos, o íon céσιο é fortemente sorvido por certos minerais da argila e é efetivamente imobilizado. A absorção por plantas depende da quantidade e do tipo de argila presente, do pH do solo e da concentração de cátions competidores (em particular,  $\text{K}^+$  e  $\text{NH}_4^+$ , mas também  $\text{Cs}^+$  e  $\text{Rb}^+$ ) (COUGHTREY & THORNE, 1983). A absorção de  $^{137}\text{Cs}$  é favorecida em solos que possuem relativamente baixos conteúdos de minerais argilosos e relativamente altos conteúdos de

matéria orgânica, em solos ácidos e em solos que possuem um baixo teor de potássio disponível. Condições anaeróbicas, incluindo as que ocorrem em solos de arrozais, também aumentam a absorção de  $^{137}\text{Cs}$  (IAEA, 1994). O solo, por sua vez, apresenta propriedades que variam em função de outros fatores: clima, organismos vivos, relevo, material de origem, tempo e espacialização.

Embora uma variação considerável seja esperada para o  $^{137}\text{Cs}$ , uma revisão feita por SEGAL (1993) sugere que a média dos fatores de transferência solo-planta para diferentes produtos agrícolas cultivados no mesmo solo segue esta ordem: cereais < raízes < gramíneas < tubérculos < sementes de leguminosas < verduras.

Devido a uma variedade de processos que incluem a fixação de minerais do solo, a incorporação por microrganismos e a migração dentro da zona da raiz, foi verificado, em países europeus, que a absorção do céσιο pelas plantas diminui com o tempo. A diminuição na disponibilidade continua por muito tempo, embora a taxa deste processo diminua com o tempo (FRISSEL *et al.*, 2002).

Não há indicações de que o clima influencie o TF diretamente em culturas tropicais e subtropicais. No entanto, os materiais rochosos e o clima determinam o sistema real do solo. Há indícios de que climas extremos produzam sistemas de solo que se afastam mais frequentemente de um solo “médio” de climas temperados. Alta pluviosidade, rápida decomposição da matéria orgânica e uso de irrigação por superfície podem ser motivos para o desenvolvimento de solos diferenciados, no que diz respeito à mobilidade do elemento (FRISSEL *et al.*, 2002).

Uma das características mais importantes dos solos altamente intemperizados é a predominância de minerais de argila tipo 1:1 e de óxidos de Fe, Al e, ocasionalmente, Mn na fração argila, enquanto que é rara a presença de minerais de argila tipo 2:1 nesses solos. Entre os solos brasileiros comumente estudados, o Nitossolo coletado na região subtropical do Brasil foi o único que apresentou traço de vermiculita. Este filossilicato 2:1 é reconhecido como responsável pela adsorção específica de  $^{137}\text{Cs}$  e pela sua forte fixação, reduzindo a transferência solo-planta com o tempo. É importante notar que, após o acidente de Goiânia, os solos contaminados não apresentaram redução no TF de  $^{137}\text{Cs}$  para rabanete com o tempo, mesmo depois de 13 anos (WASSERMAN, 2009). Mais de 10 anos após a contaminação, os solos tropicais ainda apresentavam um TF para  $^{137}\text{Cs}$  com uma ordem de grandeza maior que o TF recomendado pela IUR, o qual deveria ser utilizado para a avaliação da dose na ausência de valores regionais (WASSERMAN *et al.*, 2005).



Por outro lado, o menor TF para  $^{137}\text{Cs}$  que ocorreu no Nitossolo (neste caso, subtropical), independente do tempo decorrido após a contaminação ou do tipo de cultivo, indicou um mecanismo diferente no controle do comportamento dos radionuclídeos, em comparação com os outros solos tropicais. Este fato é provavelmente resultante da presença de vermiculita, embora em quantidades traço. Os maiores valores de TF para  $^{137}\text{Cs}$  ocorreram principalmente associados com Argissolos, ácidos e inférteis.

Apesar desta alta sensibilidade natural à contaminação por  $^{137}\text{Cs}$ , o Latossolo Vermelho e o Nitossolo tropical, (sem vermiculita, mesmo em quantidades traço), respondem muito bem às práticas agrícolas como calagem e adições orgânicas, reduzindo o seu fator de transferência solo-planta (WASSERMAN *et al.*, 2005).

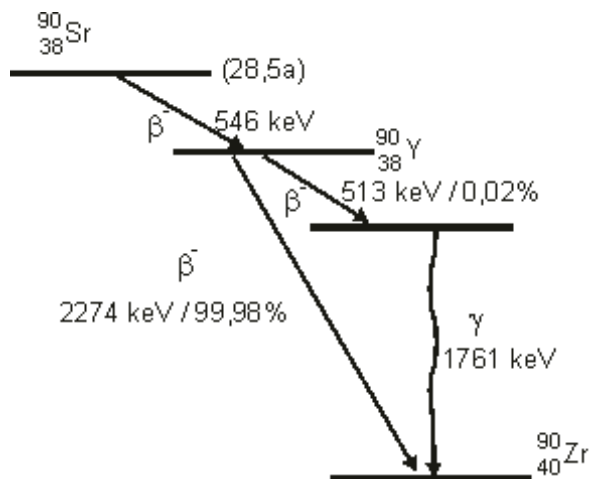
### 3.3.2 $^{90}\text{Sr}$

O  $^{90}\text{Sr}$  é um metal alcalino terroso de número atômico 38, que foi descoberto na década de 1940, em experimentos nucleares relacionados com o desenvolvimento da bomba atômica. Ele é o isótopo do elemento estrôncio de maior relevância para o meio ambiente, dentre todos os 12 radioisótopos conhecidos. Outros deles, tais como  $^{89}\text{Sr}$  e  $^{85}\text{Sr}$ , também possuem importância, por serem produzidos em reatores e utilizados na indústria e na medicina (EPA, 2010).

A meia-vida do  $^{90}\text{Sr}$  é de aproximadamente 29 anos, e ele é subproduto da fissão do urânio e do plutônio em reatores e em armas nucleares. Também pode ser encontrado em rejeitos de reatores nucleares, podendo contaminar algumas de suas partes, além dos seus fluidos. Grandes quantidades de  $^{90}\text{Sr}$  foram produzidas durante os testes atmosféricos com armas nucleares conduzidos entre as décadas de 1950 e 1960 e, por conseguinte, se dispersaram por toda a superfície terrestre. Desde então, ele tem decaído lentamente, de tal forma que, atualmente, os níveis de exposição a partir desses testes são muito baixos (EPA, 2010).

O decaimento do  $^{90}\text{Sr}$  ocorre pela emissão de uma partícula beta, sem radiação gama, dando origem ao  $^{90}\text{Y}$ , o qual também é praticamente um emissor beta puro. Ao decair, o  $^{90}\text{Y}$  dá origem ao  $^{90}\text{Zr}$ , que é estável (Figura 3.4). A meia-vida do  $^{90}\text{Y}$  é de 64 horas, e ele emite partículas beta altamente energéticas, ao contrário do  $^{90}\text{Sr}$ , o qual emite partículas de energia moderada.

Uma das formas de contaminação interna por  $^{90}\text{Sr}$  se dá através da inalação de quantidades-traço presentes em poeiras. Contudo, a ingestão de  $^{90}\text{Sr}$  por alimentos ou por água constitui a via primária de absorção deste elemento pelo homem.



**Figura 3.4. Esquema do decaimento do  $^{90}\text{Sr}$ , um emissor beta puro.**

Em sistemas biológicos, o  $^{90}\text{Sr}$  foi identificado como um dos radionuclídeos mais relevantes para a dose por ingestão devido ao seu comportamento similar ao do cálcio. O metabolismo do  $^{90}\text{Sr}$  é largamente regido pela presença do seu análogo químico, o qual está invariavelmente presente em sistemas biológicos numa concentração muito maior que a do estrôncio. Níveis de cálcio na dieta determinam a absorção do  $^{90}\text{Sr}$  no intestino. A transferência do cálcio através de membranas biológicas é mais eficiente que a do estrôncio. Por exemplo, o  $^{90}\text{Sr}$  é transferido para o leite com cerca de 10 vezes menos eficiência do que o cálcio (COUGHTREY & THORNE, 1983).

Da mesma forma que ocorre com o cálcio, as taxas de absorção para o  $^{90}\text{Sr}$  serão comparativamente altas em animais em fase de crescimento e em lactantes. A sua absorção também será aumentada caso a ingestão de cálcio seja baixa. O metabolismo do  $^{90}\text{Sr}$  não está sob controle homeostático, porém ele reflete intimamente as adaptações do cálcio, já que as células do corpo não conseguem diferenciar completamente um elemento do outro (COUGHTREY & THORNE, 1983; IAEA, 1994).

Quando o  $^{90}\text{Sr}$  é absorvido pelo corpo, aproximadamente 20-30% tende a se depositar nos ossos e nos dentes, uma vez que o seu análogo químico é o principal elemento presente nesses órgãos, responsável por fornecer sustentação e rigidez ao

corpo. Apenas 1% do  $^{90}\text{Sr}$  absorvido se distribui pelo sangue, pelos fluidos extracelulares, pelos tecidos moles (incluindo a medula óssea) e pela superfície dos ossos, onde ele pode permanecer até decair ou ser excretado (COUGHTREY & THORNE, 1983; EPA, 2010).

Uma vez depositado, o  $^{90}\text{Sr}$  é liberado de forma bastante lenta, sendo que a principal via de eliminação ocorre pelas fezes. A excreção urinária é baixa, mas o leite também pode ser considerado um veículo significativo para a perda de estrôncio pelo corpo (COUGHTREY & THORNE, 1983). Após uma contaminação no pasto, as concentrações de  $^{90}\text{Sr}$  no leite de vacas alcançam um valor máximo em 3 a 4 dias. Para vacas que ingerem pasto com níveis normais de cálcio, até 20% da ingestão diária de  $^{90}\text{Sr}$  será secretada no leite. Níveis de  $^{90}\text{Sr}$  no leite podem ser aumentados pela liberação lenta do  $^{90}\text{Sr}$  pelos ossos, caso haja reservatórios significantes presentes no corpo (IAEA, 1994).

Semelhantemente ao que ocorre com o  $^{137}\text{Cs}$ , fatores de transferência do  $^{90}\text{Sr}$  para o leite são geralmente menores para animais de grande porte, tais como o gado bovino (o coeficiente de transferência é de  $2,8 \times 10^{-3}$  d/L), do que para animais de pequeno porte, como ovelhas e cabras (em cabras, o valor do coeficiente é uma ordem de grandeza maior). Os fatores de transferência para a carne aviária e para ovos não chegam a ser tão altos (o coeficiente de transferência para ovos é de cerca de  $1,8 \times 10^{-1}$  d/kg) (IAEA, 1994).

O  $^{90}\text{Sr}$  pode formar vários compostos químicos, incluindo halogenados, óxidos e sulfetos, e por isso, possui grande mobilidade no ambiente. Logo, o  $^{90}\text{Sr}^{2+}$  se encontra biodisponível em raízes numa variedade muito mais ampla de solos, em relação ao  $^{137}\text{Cs}$ , uma vez que não é adsorvido pela argila da mesma forma que o íon  $\text{Cs}^+$ . Contudo, o estrôncio pode ser reversivelmente adsorvido por coloides do solo (tanto inorgânicos quanto orgânicos) por troca catiônica; portanto, o alcance é controlado pela capacidade de troca catiônica do solo e pela concentração de outros cátions, particularmente o  $\text{Ca}^{2+}$ . Alterações nas condições do solo, tais como pH, e adição de fertilizante podem modificar sua absorção por vegetais (COUGHTREY & THORNE, 1983).

Uma revisão feita por ARNOLD (1991) sugere que, para  $^{90}\text{Sr}$ , a média dos fatores de transferência solo-plantas para diferentes produtos agrícolas cultivados no mesmo solo foi quotado da seguinte forma: cereais < tubérculos < raízes < sementes de leguminosas < gramíneas < verduras.

Dentro dos estudos realizados dentro do Projeto de Radioecologia Tropical, resultados da partição geoquímica mostraram que mais de 49% do total  $^{90}\text{Sr}$  em solos (Latosolo, Argissolo Nitossolo tropical e subtropical, Histossolo e solo de Goiânia) estão prontamente disponíveis para absorção pela raiz até três anos após a contaminação. No entanto, a absorção pelas plantas parece controlada pelos mecanismos de concorrência entre o estrôncio e o cálcio: solos com alto teor de cálcio tendem a absorver menos  $^{90}\text{Sr}$ , mesmo quando este estiver disponível na solução do solo. Assim como o cézio, o menor TF ocorreu principalmente no Nitossolo, enquanto que valores superiores do TF estavam principalmente associados com solos ácidos e inférteis, Argissolos e Latossolos Vermelho ricos em óxidos e hidróxidos de ferro (WASSERMAN, 2009).

Solos com baixos teores de cálcio são os mais sensíveis a uma contaminação por  $^{90}\text{Sr}$ , pois apresentam a maior transferência de material para a planta, quando comparados com outros tipos de solo. Os valores observados de TF para  $^{90}\text{Sr}$  em solos tropicais foram inferiores aos valores recomendados para solos de clima temperado. Esses resultados mostraram que algumas medidas preventivas, tais como adubação e calagem, podem ser eficazes em solos inférteis contaminados por cézio, enquanto que a fertilização com cálcio pode produzir resultados eficientes em solos contaminados com estrôncio (WASSERMAN *et al.*, 2005).

### 3.3.3 $^{131}\text{I}$

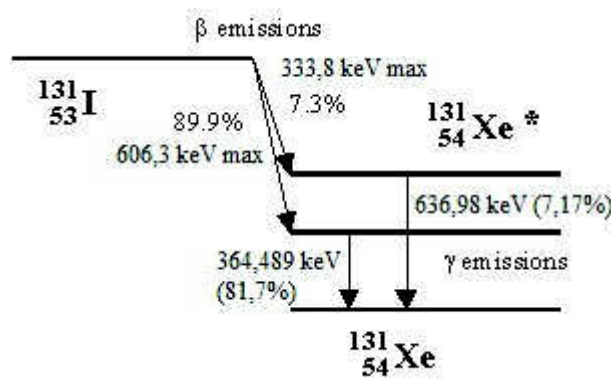
O  $^{131}\text{I}$  é um ametal de número atômico 53, que foi descoberto por Glenn T. Seaborg e John Livingood na Universidade de Califórnia, no final da década de 1930. Dentre os isótopos radioativos do iodo, destacam-se o  $^{129}\text{I}$  e o  $^{131}\text{I}$ , por sua facilidade de contaminar o meio ambiente e pela consequente exposição de indivíduos do público. Alguns outros radioisótopos, tais como o  $^{123}\text{I}$  (utilizado na medicina para a formação de imagens), o  $^{124}\text{I}$  e o  $^{125}\text{I}$  (empregados no tratamento de doenças), não costumam ser um problema ambiental, pois suas meias-vidas são muito curtas (EPA, 2010).

Sua meia-vida é de 8,04 dias, o que significa que, no caso de uma contaminação acidental, ele irá decair completamente no ambiente em questão de meses. Da mesma forma que o  $^{129}\text{I}$ , o  $^{131}\text{I}$  é produzido pela fissão de átomos de urânio durante a operação

de reatores nucleares e pela fissão do plutônio ou do urânio na explosão de armas nucleares (EPA, 2010).

O decaimento do  $^{131}\text{I}$  ocorre pela emissão de uma partícula beta acompanhada de uma emissão gama fraca (de aproximadamente 364 KeV), dando origem ao  $^{131}\text{Xe}$  (Figura 3.5). Esta radiação gama é liberada quase que instantaneamente, em questão de picossegundos.

O iodo reage facilmente com outros elementos químicos, e seus isótopos são encontrados como compostos com uma maior frequência do que o próprio elemento puro. Por isso, quando localizado em instalações nucleares e em usinas de tratamento de rejeitos, o  $^{131}\text{I}$  rapidamente forma compostos com a mistura dos elementos químicos presentes. Contudo, o iodo lançado para o meio ambiente a partir de usinas nucleares se encontra geralmente no estado gasoso (EPA, 2010).



**Figura 3.5. Esquema do decaimento do  $^{131}\text{I}$ , um emissor beta-gama.**

O  $^{131}\text{I}$  se constitui num produto de fissão gasoso que é formado dentro das varetas do combustível nuclear conforme ele se fissiona. Varetas rompidas podem liberar iodo radioativo para o sistema de água que envolve e resfria esses dispositivos. Desta forma, ele passa a circular com a água de resfriamento por todo o sistema, terminando no ar e nos rejeitos líquidos e sólidos do reator. De tempos em tempos, os sistemas de captura de gás do reator liberam gases, incluindo o iodo, para o ambiente de forma controlada para não causar danos ao ambiente e aos seres vivos (EPA, 2010).

Em qualquer lugar onde o combustível nuclear gasto seja manuseado, haverá uma chance de o  $^{131}\text{I}$  escapar para o ambiente. Usinas de reprocessamento do combustível nuclear dissolvem as varetas de combustível gastas em ácidos fortes, a fim de recuperar o plutônio e outros materiais valiosos. No processo, elas também liberam

$^{131}\text{I}$  no ar e em sistemas de processamento de rejeitos líquidos e sólidos (EPA, 2010). Onde quer que o combustível nuclear gasto seja armazenado, o  $^{131}\text{I}$  presente nele irá decair rápida e completamente, e esta é uma vantagem de se estocar produtos contendo materiais radioativos de meia-vida relativamente curta.

O  $^{131}\text{I}$  pode ser considerado um dos radionuclídeos mais móveis, embora a absorção vegetal de  $^{131}\text{I}$  no solo não seja importante devido à sua meia-vida curta. Ele pode se dispersar rapidamente no ar e na água (COUGHTREY *et al.*, 1983). Entretanto, ele se combina facilmente com materiais orgânicos do solo. Isso é conhecido como “fixação orgânica” e retarda a movimentação do iodo pelo ambiente. Alguns minerais do solo também se agregam ou ficam adsorvidos a ele, o que desacelera sua migração.

A absorção de  $^{131}\text{I}$  pode ocorrer pela inalação do gás ou pela ingestão de alimentos ou água contaminados. Ele pode, por exemplo, depositar-se em pastos onde vacas se alimentam e ser transferido para humanos através do leite. Ele pode se depositar em vegetais folhosos e ser ingerido por humanos. Há também a possibilidade de se concentrar em peixes marinhos e de água doce, os quais servem de alimento para humanos (EPA, 2010; IAEA, 1994).

Indivíduos do público estão expostos ao  $^{131}\text{I}$  a partir das emissões das usinas nucleares. Algumas instalações industriais também emitem iodo radioativo para o ambiente, assim como instalações médicas. Embora a forma gasosa seja a mais comum, o  $^{131}\text{I}$  também pode contaminar materiais sólidos ou líquidos (EPA, 2010).

Independentemente de sua forma fundamental, inorgânica ou orgânica, o iodo é rápida e completamente absorvido pelo intestino e tende a se acumular na glândula tireoide, onde passa a ser incorporado nos hormônios que ela produz (tiroxina ou  $\text{T}_4$  e triiodotironina ou  $\text{T}_3$ ) (COUGHTREY *et al.*, 1983). Todavia, é importante destacar que a tireoide não consegue distinguir o iodo radioativo de seus isótopos estáveis. Ela absorverá iodo radioativo em qualquer proporção que ele esteja disponível no ambiente. Se a concentração do  $^{131}\text{I}$  aumentar no sangue, a probabilidade de sua absorção, em vez do iodo estável, também aumentará (EPA, 2010).

Quando o  $^{131}\text{I}$  é absorvido pelos pulmões, ele passa para a circulação sanguínea e assim, se acumula na tireoide. No corpo, o iodo possui uma meia-vida biológica de aproximadamente 100 dias, embora existam meias-vidas biológicas distintas para vários órgãos: 100 dias na tireoide, 14 dias nos ossos e 7 dias nos rins, no baço e nos órgãos reprodutivos (EPA, 2010).

O  $^{131}\text{I}$  também se acumula na glândula mamária, pois apresenta uma rápida transferência para o leite. Ele também pode ser excretado pela urina e, numa menor proporção, pelas fezes (COUGHTREY *et al.*, 1983). Devido à meia-vida física e à meia-vida biológica na tireoide e no leite serem curtas, a contaminação de  $^{131}\text{I}$  no leite se constitui num problema de curto prazo. Após a passagem de uma pluma radioativa pelo pasto, os níveis de  $^{131}\text{I}$  no leite de vacas atingem um valor máximo em até dois dias (IAEA, 1994).

Os fatores de transferência do  $^{131}\text{I}$  para o leite seguem as mesmas características do  $^{137}\text{Cs}$  e do  $^{90}\text{Sr}$ : são geralmente menores para animais de grande porte, tais como o gado bovino (o coeficiente de transferência para o leite de vaca é  $1,0 \times 10^{-2}$  d/L), do que para animais de pequeno porte, como ovelhas e cabras (o coeficiente de transferência para leite de cabras é  $4,3 \times 10^{-1}$  d/L). Os fatores de transferência para ovos são considerados altos (1,0 d/kg) (IAEA, 1994).

A transferência de  $^{131}\text{I}$  do plasma sanguíneo para o leite em cabras e em ovelhas pode exceder 50% do consumo diário. Ela pode ser afetada por vários fatores, incluindo a condição nutricional do animal, a produção de leite, a absorção de iodo estável, a temperatura e as substâncias goitrogênicas presentes na ração fornecida (IAEA, 1994).

De forma semelhante ao que ocorre com o  $^{137}\text{Cs}$  no leite, o  $^{131}\text{I}$  tende a permanecer na fração aquosa; entretanto, observa-se uma maior quantidade na fração gordurosa. Desta forma, ocorre transferência do  $^{131}\text{I}$  no processamento do leite para a produção de queijos (IAEA, 1994).

### **3.4 Medidas de proteção e de remediação**

A seleção de medidas de proteção e de estratégias de remediação de áreas após um acidente precisa ter uma base estabelecida previamente. Quando isso não ocorre, é inevitável o desgaste emocional não só dos usuários da área afetada, como também da exposição de trabalhadores devido à implantação de medidas que não geram resultados eficazes na redução de doses no público (IAEA, 2006, 1998, 1991, 1988). Sendo assim, nos diversos acidentes envolvendo materiais radioativos, os quais vêm acontecendo desde o século passado, tem se observado o despreparo de autoridades responsáveis para este tipo de ação, em razão da ausência da definição de estratégias a serem adotadas após esses eventos. A constatação da repetição e da quantidade de acidentes nucleares e radiológicos ocorrendo mundialmente durante um curto período de tempo

demonstra que as lições aprendidas, as quais serviriam como experiências de precaução contra novos acidentes, não são realmente levadas em conta.

Acidentes envolvendo materiais radioativos são ocorrências pouco frequentes de liberação de radionuclídeos por via aérea, terrestre ou aquática, de forma descontrolada e acima dos limites pré-estabelecidos (IAEA, 1988). Se esta liberação for consequência da manipulação incorreta ou do mau funcionamento de reatores nucleares, o acidente será caracterizado como nuclear. Por outro lado, se a liberação for consequência da manipulação inadequada de outros materiais radioativos (tais como fontes-órfãs), haverá um acidente radiológico.

Grande parte do conhecimento que se tem acerca da aplicação de medidas de proteção para o público e de remediação de áreas contaminadas foi gerado a partir de experiências durante acidentes tanto nucleares quanto radiológicos, além das lições aprendidas com base nas decisões tomadas. Os três principais acidentes que causaram um acúmulo de conhecimento sobre esta área e, por conseguinte, a necessidade do desenvolvimento da pesquisa sobre essas medidas com o intuito de estar preparado para situações de emergência foram: Chernobyl, na Ucrânia (1986), Goiânia, no Brasil (1987) e Tomsk, na Rússia (1993). Embora ainda não tenham sido divulgados estudos sobre o acidente de Fukushima (Japão), em abril do presente ano, é importante destacar que suas lições aprendidas servirão também como referência para novos conhecimentos e para novas ações de emergência em consequência deste tipo de acidente.

#### ***3.4.1 A experiência de Chernobyl (Ucrânia)***

O acidente de Chernobyl foi causado pela explosão de um reator nuclear seguida pelo incêndio da usina, localizada a 100 km de Kiev, na Ucrânia. O incêndio durou 10 dias e resultou numa liberação de grande quantidade de material radioativo para o meio ambiente, causando consequências adversas para o público e para o ambiente (IAEA, 2006).

Uma das maiores consequências do acidente de Chernobyl foi a contaminação radioativa em superfícies de grandes áreas pertencentes principalmente a três Repúblicas da antiga União Soviética (totalizando 71% das áreas contaminadas), as quais atualmente são ocupadas pela Bielorrússia, pela Rússia e pela Ucrânia (IAEA, 2006, 1991). Os radionuclídeos depositados vêm decaindo gradualmente e acabaram por migrar para vários ambientes: atmosféricos, aquáticos, terrestres e urbanos.



As consequências do acidente, no entanto, não se limitaram apenas a esses territórios: outros países da Europa também foram afetados como resultado da transferência atmosférica do material radioativo, que também encontraram problemas na radioproteção de sua população (IAEA, 2006).

Nos meses e anos seguintes, houve um trabalho técnico e científico sem precedentes com o intuito de: (i) identificar a composição e medir a quantidade de materiais radioativos liberados no acidente; e, (ii) avaliar e mitigar as suas consequências. Essas atividades e seus resultados levaram a numerosas decisões administrativas e políticas, uma vez que o acidente havia afetado e continuaria a afetar a vida de um grande número de pessoas, incluindo efeitos à saúde, ao modo de vida, à agricultura e às condições sócio-econômicas.

Essas decisões que romperam e, de fato, redirecionaram as vidas de pessoas expostas a materiais radioativos, geraram muita oposição e ansiedade. As dimensões humanas, econômicas e ambientais do acidente a curto prazo constituíram-se em 31 mortes, 100 mil pessoas evacuadas de uma zona de 30 quilômetros de raio em relação à usina, evacuação de milhares de animais (gado) e uma contaminação extensa do solo e das florestas (IAEA, 2006, 1991).

A liberação total das substâncias radioativas foi de aproximadamente 14 EBq ( $1 \text{ EBq} = 10^{18} \text{ Bq}$ ), a qual incluía 1,8 EBq de  $^{131}\text{I}$ , 0,085 EBq de  $^{137}\text{Cs}$  e outros radioisótopos do céscio, 0,01 EBq de  $^{90}\text{Sr}$  e 0,003 EBq de radioisótopos do plutônio. Os gases nobres contribuíram com cerca de 50% da liberação total radioativa. A deposição foi altamente heterogênea e foi fortemente influenciada pela ocorrência de chuvas durante a passagem das massas de ar contaminadas (IAEA, 2006).

Para efetuar um mapeamento da deposição, foi escolhido tomar como base as concentrações de  $^{137}\text{Cs}$ , devido à sua facilidade de medição e à sua significância radiológica. A maioria dos radioisótopos do estrôncio e do plutônio se depositou próximo (menos de 100 km) do reator, em razão de estarem contidos em partículas maiores (IAEA, 2006).

Um ano após o acidente, as consequências mais duradouras do acidente, incluindo a saúde e o bem-estar das pessoas que moravam em áreas contaminadas no exterior da zona de evacuação, estavam se tornando uma questão de preocupação crescente. Com o objetivo de fornecer uma orientação em questões radiológicas, foi proposto um “conceito de vida segura”, tendo sido recomendada uma norma determinando um limite de exposição de 70 anos de 35 rem (350 mSv), que definiria o

limite superior de condições radiológicas sobre as quais a vida poderia proceder sem requerer medidas destrutivas de proteção e de remediação para fornecer uma segurança adequada. Outros conceitos propostos incluíam a contaminação de superfícies como critério para os pagamentos da realocação e da compensação.

Após o acidente de Chernobyl, as autoridades da antiga União Soviética introduziram uma variedade de medidas de proteção e de remediação de curto e longo prazos, a fim de reduzir os efeitos da contaminação ambiental. Tais medidas consumiram uma grande quantidade de recursos humanos, econômicos e científicos. Infelizmente, nem sempre houve sinceridade e transparência nas ações das autoridades, e isso pode explicar alguns dos problemas vivenciados mais tarde na comunicação com o público, além da sua desconfiança em relação às autoridades (IAEA, 2006).

A escala e as consequências a longo prazo do acidente de Chernobyl exigiram o desenvolvimento de alguns padrões nacionais e internacionais de segurança adicionais contra a radiação, como resultado da mudança das condições radiológicas (IAEA, 2006, 1991).

A descontaminação em áreas urbanas foi amplamente aplicada como medida de proteção/remediação nas regiões contaminadas da antiga União Soviética durante os primeiros anos após o acidente, com o intuito de reduzir a exposição externa do público e a inalação de substâncias radioativas ressuspensas. Esta medida foi rentável, no que diz respeito à redução da dose externa, quando o seu planejamento e a sua aplicação foram precedidos de uma avaliação da remediação baseada nas técnicas de custo-benefício e nos dados de dosimetria externa. Uma vez que as áreas foram limpas, nenhuma contaminação secundária foi observada. Por outro lado, a descontaminação de ambientes urbanos produziu uma quantidade considerável de rejeito radioativo de baixo nível, o qual, por sua vez, criou um problema de descarte.

Em áreas rurais, medidas de proteção e de remediação aplicadas na fase inicial do acidente foram apenas parcialmente eficientes na redução da absorção de iodo radioativo através da ingestão de leite, em razão da falta de informação oportuna sobre o acidente e da orientação de ações recomendadas, particularmente para fazendas privadas. Isso ocasionou uma exposição significativa ao iodo radioativo.

As medidas mais eficazes na fase inicial foram a retirada de pasto contaminado da dieta de animais e a rejeição do leite. A alimentação de animais com forragem limpa (não contaminada) foi efetivamente implantada em alguns países; entretanto, esta medida não foi amplamente aplicada na antiga União Soviética devido à falta de

alimentos livres de contaminação. O abate do gado foi frequentemente realizado, porém não foi justificado do ponto de vista radiológico e causou problemas econômicos, práticos e higiênicos.

Alguns meses após o acidente, medidas rurais de proteção e de remediação de longo prazo contra o césio e o estrôncio radioativos foram efetivamente aplicadas em todas as regiões contaminadas; essas medidas incluíam o fornecimento de forragem limpa para animais e o processamento obrigatório de leite. Isto possibilitou a continuidade das práticas agrícolas nas áreas afetadas, resultando numa grande redução da dose. A pré-condição mais importante foi a monitoração da radiação em solos agrícolas e em alimentos, incluindo a monitoração *in vivo* das concentrações da atividade do césio nos músculos dos animais de gado.

A longo prazo, as medidas de proteção e de remediação permaneceram eficientes e justificadas, principalmente em áreas agrícolas com solos pobres (arenosos e turfosos), nos quais uma alta transferência de radionuclídeos no sistema solo-planta poderia ocorrer. Neste caso, o maior problema foi a contaminação de césio radioativo no leite e na carne. Na antiga União Soviética e, mais tarde, nos três países independentes, isto foi realizado através do tratamento do solo utilizado para o cultivo de forragem, do fornecimento de alimentos não contaminados e da aplicação de ligantes químicos do césio em animais. O fornecimento de alimentos não contaminados é uma das medidas mais importantes e eficientes utilizadas em países onde os produtos de origem animal possuem concentrações da atividade de  $^{137}\text{Cs}$  excedendo os níveis de ação. A longo prazo, as condições ambientais de radiação mudam lentamente para este radionuclídeo (IAEA, 2006).

As principais medidas de proteção e de remediação aplicadas em florestas após o acidente foram baseadas no gerenciamento (restrição de várias atividades normalmente realizadas em florestas) e na tecnologia. Restrições foram amplamente aplicadas nos três países mais afetados, e parcialmente na Escandinávia, incluindo ações que reduziram a exposição humana em decorrência de habitações próximas a florestas radioativamente contaminadas e do uso de produtos florestais. Essas medidas foram: (i) restrições no acesso do público e de trabalhadores florestais; (ii) restrições na caça de animais; (iii) restrições na colheita de produtos alimentícios, tais como frutos e cogumelos (nos três países mais afetados, os cogumelos são consumidos em grande quantidades); (iv) restrições na coleta de lenha pelo público; (v) alteração das práticas de caça; e, (vi) prevenção de incêndios, especialmente em áreas com deposição de

radionuclídeos em grande escala. Todavia, a experiência nos três países mais afetados mostrou que essas restrições podem também resultar em consequências sociais negativas significantes e que as orientações das autoridades para o público podem ser ignoradas.

Numerosas medidas de proteção e de remediação também foram postas em prática nos meses e nos anos após o acidente para proteger sistemas aquáticos quanto à transferência de radionuclídeos de solos contaminados. Em geral, essas medidas foram ineficazes e caras, além de levarem a exposições relativamente altas dos trabalhadores responsáveis pela sua implantação. A medida mais eficaz foi a restrição precoce do fornecimento de água potável e a mudança para abastecimentos alternativos. Restrições do consumo de peixe de água doce também mostraram ser eficientes na Escandinávia e na Alemanha.

#### ***3.4.2 A experiência de Goiânia (Brasil)***

O acidente radiológico de Goiânia foi causado pelo abandono de uma fonte de  $^{137}\text{Cs}$ , a qual era utilizada para teleterapia, quando a firma responsável mudou de endereço. A fonte foi encontrada por duas pessoas que invadiram o local e a removeram, por imaginarem que a unidade possuía algum valor como sucata.

A fonte radioativa apresentava uma atividade de 50,9 TBq (1375 Ci) de  $^{137}\text{Cs}$  e se encontrava na forma de um sal (cloreto de cézio), que é altamente solúvel e rapidamente se dispersa no ambiente. Logo, após a abertura da fonte de  $^{137}\text{Cs}$ , a contaminação no ambiente foi inevitável, resultando na dispersão e nas contaminações externa e interna de vários indivíduos (IAEA, 1988).

Após a descoberta do acidente, foi efetuada uma monitoração e a primeira medida tomada foi a evacuação das áreas afetadas. Um estádio foi utilizado para a identificação de prováveis pessoas contaminadas. No total, cerca de 112 mil pessoas foram monitoradas, das quais em 249 foi encontrado algum tipo de contaminação, interna ou externa. O acidente resultou na morte de quatro pessoas e em efeitos da radiação em várias outras.

O meio ambiente também foi contaminado em consequência do acidente. As medidas tomadas para remover a contaminação podem ser divididas em duas fases. A primeira fase correspondeu às ações urgentes necessárias para deixar todas as fontes potenciais de contaminação sob controle. A segunda fase, que pode ser considerada

como a fase de remediação, teve como objetivo restaurar as condições normais de vida (IAEA, 1988).

Na fase urgente, níveis de ação foram determinados para o controle de acesso, para a evacuação e para os trabalhadores participantes do gerenciamento do acidente. A resposta subsequente enfrentou várias dificuldades no estudo da área urbana e da bacia fluvial, pois foi observado que, em vez de serem carregados pela chuva como se esperava, os materiais radioativos se depositaram em telhados, causando a maior contribuição da taxa de dose nas casas. Níveis de contaminação na água potável foram muito baixos. Também não foram encontrados indícios de contaminação na água subterrânea, exceto por alguns poços próximos aos principais focos de contaminação.

As principais medidas de proteção e de remediação aplicadas durante esta fase de remediação foram a descontaminação dos principais sítios (incluindo áreas externas dos principais focos), de casas, de locais públicos e de veículos. Para a descontaminação nos principais focos, foi necessária uma maquinaria pesada para remover grandes quantidades de solo e para demolir casas, com geração de grande quantidade de rejeitos. Por isso, um local de armazenamento temporário de rejeitos teve que ser planejado e construído. O volume total de rejeito armazenado foi imenso, em consequência das diversas decisões acerca dos valores de níveis de ação, as quais foram responsáveis por reduzir cada vez mais os limites entre descontaminação e descarte dos materiais. Essas decisões foram influenciadas por considerações políticas e sociais, as quais acabam por impor critérios extremamente restritivos para ações de remediação (IAEA, 1988).

As áreas onde o solo foi removido foram cobertas com concreto ou um forro de solo. A descontaminação de casas foi realizada por limpeza a vácuo na parte interna e por lavagem com jatos de água de alta pressão na parte externa. Vários procedimentos para descontaminação química mostraram ser eficazes (IAEA, 1988).

### ***3.4.3 A experiência de Tomsk (Rússia)***

O acidente ocorreu numa usina de reprocessamento, localizada a 16 km de Tomsk, uma cidade que possuía uma população de aproximadamente 500 mil pessoas. Este acidente causou danos à linha de reprocessamento e ao próprio edifício que servia de estrutura, resultando na liberação de cerca de 30 TBq de radionuclídeos beta e gama emissores, além de 6 GBq de  $^{239}\text{Pu}$ . Embora ele tenha sido considerado um acidente sério, não houve superexposição de indivíduos do público (IAEA, 1998).

A liberação inicial dos materiais radioativos causou contaminação nas proximidades do edifício do acidente, numa área que se estendeu por 1500 m<sup>2</sup>. No momento do acidente, estava nevando e o vento soprava em direção ao lado danificado da parede, o que pode ter limitado o espalhamento dos materiais liberados.

A resposta imediata ao acidente foi rápida e eficaz. Nenhuma lesão foi observada nos trabalhadores da instalação nem nos bombeiros que foram ao local dar assistência. A maior dose externa ocupacional registrada foi 7 mSv (IAEA, 1998).

As medições ambientais começaram uma hora após o acidente, com medidas de taxa de dose e amostragem de ar, solo, vegetação e neve no eixo da pluma. O único local ocupado atingido pela pluma foi a aldeia de Georgievka, com uma população de aproximadamente 200 pessoas, localizada a 15 km do complexo industrial. A aldeia era composta por algumas dezenas de casas frágeis de madeira e nenhum produto agrícola estava sendo cultivado na época do acidente.

As amostras de solo continham os emissores beta <sup>95</sup>Zr, <sup>95</sup>Nb, <sup>103</sup>Ru e <sup>106</sup>Ru, aproximadamente nas mesmas proporções. Uma atividade muito baixa relacionada a esses radionuclídeos foi medida em amostras de água e nenhum outro radionuclídeo foi detectado (IAEA, 1998). Não foi detectada atividade alfa em nenhuma das amostras. Isso significava que a taxa de dose externa reduziria rapidamente e que nenhuma descontaminação adicional seria necessária fora do local.

Além da própria instalação e do povoado de Georgievka, houve contaminação radioativa numa área considerável da zona rural circundante ao norte do local do acidente, incluindo parte da rodovia que interliga as cidades de Samus e Tomsk. Foram observados traços de contaminação que se estenderam numa região a nordeste, praticamente ocupada por florestas. Neste local, havia cerca de 100 hectares de campos agrícolas utilizados para o cultivo de vegetais.

Embora o nível de contaminação tenha sido relativamente baixo, um esforço considerável foi gasto na descontaminação de edifícios e de solos no local do acidente, assim como nos solos de fazendas e áreas dentro da localidade de Georgievka. Uma das ações tomadas foi a remoção de neve e da superfície do solo. Foram importados alimentos para a população local e para os animais, a fim de se evitar exposição interna por ingestão. Algumas das medidas introduzidas na área circundante não foram estritamente garantidas como totalmente eficientes, tendo em vista o nível de contaminação observado; no entanto, elas foram realizadas com o intuito de transmitir tranquilidade à população local, reduzindo assim a preocupação e o estresse. O custo da

aplicação dessas medidas foi alto, e elas não seriam justificáveis caso somente os critérios de radioproteção tivessem sido levados em consideração. Sob o ponto de vista de custo-benefício, nenhuma das medidas de proteção e de remediação aplicadas seriam justificadas (IAEA, 1998).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Base de dados: medidas de proteção e de remediação

A seleção de medidas de proteção e de estratégias de remediação de áreas após um acidente precisa ter uma base técnico-científica estabelecida previamente, dentro de um procedimento multicritério, evitando procedimentos que não sejam eficazes na redução de dose e selecionando, através de um processo de otimização, medidas com menor impacto por unidade de dose evitada.

A descrição das medidas visando à sua utilização dentro de um processo multicritério de tomada de decisão deve envolver aspectos técnicos, radiológicos, político-sociais e econômicos. Cabe ao IRD e à CNEN definir os critérios radiológicos a serem considerados nesta análise. Desta forma, uma base de dados foi desenvolvida de forma a dar suporte a um processo de tomada de decisão, focalizando principalmente os aspectos de radioproteção.

Inicialmente, foi efetuada uma pesquisa bibliográfica para o levantamento da informação disponível sobre aplicação de medidas de proteção e de remediação após acidentes radiológicos ou nucleares, tanto para áreas urbanas quanto para áreas rurais além da eficácia observada para os diversos cenários de exposição. Este levantamento incluiu os seguintes documentos e publicações: ANDERSSON *et al.* (2003); BUNR (2000); IAEA (2006, 1994); NISBET *et al.* (2008).

A maioria das estratégias de descontaminação descritas na literatura, no entanto, foram desenvolvidas para acidentes e condições ambientais específicas; houve então a necessidade de adaptar estas estratégias para adequação às características específicas das áreas de clima tropical e aos hábitos e usos de áreas no Brasil.

Desta forma, foi elaborada uma base de dados, contendo diversos parâmetros que descrevem as medidas selecionadas de forma que pudessem ser aplicadas em âmbito nacional. Esses parâmetros trazem informações que servirão como dados de entrada para o projeto de tomada de decisão, tais como: eficiência na redução da concentração ambiental relacionada com aspectos temporais e sazonais, características dos rejeitos, viabilidade e necessidades principais que podem afetar os custos da aplicação das medidas. Inicialmente, as medidas selecionadas foram montadas em uma base de dados em planilhas MS Excel®, a fim de que, mais tarde, elas pudessem ser organizadas em forma de catálogo.



Para cada medida, a sua adequação para ambientes tropicais foi analisada. Por exemplo, medidas a serem aplicadas em relação a gelo e neve foram removidas; comentários foram incluídos em medidas que precisam de materiais e/ou equipamentos específicos que podem não estar facilmente disponíveis; também houve comentários em medidas que não consideram a possibilidade de alterações no uso da área a médio e longo prazos, uma vez que alterações de uso são comuns em países em desenvolvimento.

Foi observado que, de um modo geral, a informação encontrada na literatura sobre a eficiência das medidas é apenas qualitativa ou se refere apenas ao efeito da medida em reduzir a concentração nos meios ambientais onde a medida é aplicada. Verificou-se então a necessidade de complementar a informação encontrada na literatura, normalmente associada à redução da contaminação em superfícies. Para servir de apoio a um processo de tomada de decisão, é necessário obter resultados relacionados à redução de dose na população.

Assim sendo, para verificar a eficiência das medidas na redução de doses, em função do momento de sua aplicação, foram realizadas diversas simulações, em diferentes cenários urbanos e rurais, variando o momento de aplicação da medida, utilizando os fatores de redução de concentração descritos na literatura (ROCHEDO *et al.*, 2009) e levando em conta as condições de cenários brasileiros.

A seleção de radionuclídeos a serem incluídos nas simulações levou em conta a experiência do acidente de Chernobyl. Dentre os radionuclídeos reconhecidos como tendo sido relevantes para as doses no público, as simulações contemplaram aqueles para os quais já existem dados de comportamento ambiental, levando em conta as diferenças entre os reatores existentes em Chernobyl e aqueles existentes no Brasil. Desta forma, para áreas urbanas, as simulações foram efetuadas apenas para o radionuclídeo  $^{137}\text{Cs}$ . Para áreas rurais, foram efetuadas simulações para o  $^{137}\text{Cs}$  e o  $^{90}\text{Sr}$ . No caso de áreas rurais, foram também efetuadas simulações para o radionuclídeo  $^{131}\text{I}$ , mesmo sem existirem dados de comportamento deste radionuclídeo no Brasil, devido à sua relevância para a dose e efeitos observados após o acidente de Chernobyl (UNSCEAR, 2011), supondo que o comportamento ambiental não seja tão relevante quanto nos casos do céσιο e do estrôncio, devido à meia-vida curta deste radionuclídeo. Considera-se, porém, que seria relevante obter confirmação desta hipótese a partir de estudos específicos de radioecologia.

## 4.2 Estabelecimento de cenários

Selecionou-se, como base para a elaboração dos cenários para a simulação das medidas de proteção e de remediação, a área em torno da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (no município de Angra dos Reis), de forma a utilizar os dados levantados em trabalhos anteriores. Foram elaborados cenários baseados nas informações disponíveis para a área, no caso, em um raio de 15 km para áreas urbanas e de 50 km para o caso de áreas rurais (ROCHEDO *et al.*, 2000; SALINAS *et al.*, 2006a, 2006b; VETERE *et al.*, 2002; VINHAS *et al.*, 2005; WASSERMAN *et al.*, 2008a, 2008b, 2006, 2002a, 2002b).

Estes cenários foram então utilizados para avaliação da redução de dose devido à aplicação de medidas de proteção e de remediação específicas, utilizando o código SIEM – Sistema Integrado de Emergência, desenvolvido no IRD (CONTI, 2002; CONTI *et al.*, 2002).

### 4.2.1 Ambientes urbanos

Para a contaminação de ambientes urbanos, os cenários foram avaliados somente para o  $^{137}\text{Cs}$ , já que este foi considerado o mais relevante dos radionuclídeos a contribuir a longo prazo para as doses do público neste tipo de ambiente. Foi considerada uma deposição seca de  $1 \text{ MBq/m}^2$  em uma superfície horizontal gramada, já definida anteriormente como superfície de referência (ROCHEDO *et al.*, 1997; VETERE *et al.*, 2002). O efeito de cada medida simulada foi avaliado em função da redução da dose externa, por um período de até 50 anos após a contaminação, para um adulto ocupando um único compartimento de forma integral (24 h/d), para cada um dos 5 cenários urbanos internos básicos. Desta forma, os valores de dose obtidos na simulação com o SIEM corresponderiam à máxima dose externa efetiva comprometida que cada indivíduo presente em seu respectivo cenário receberia.

Apesar de esses cenários serem considerados bem simplificados, é possível comparar as diferentes medidas nos diversos ambientes simulados. Os ambientes simulados representam:

Casa 1 – casa de madeira (baixa blindagem), típica de ambientes europeus, conforme definida por MECKBACH *et al.* (1988);

Casa 2 – casa de alvenaria simples, sem acabamento;

Casa 3 – casa de alvenaria com acabamento parcial, isto é, apenas um lado da parede tem acabamento;

Casa 4 – casa de alvenaria com acabamento (emboço e reboco) interno e externo;

Casa 5 – casa de alvenaria com acabamento duplo, típico para casas alemãs, conforme definida por MECKBACH *et al.* (1988).

Nos cenários das casas 3, 4, e 5 pretende-se simular residências tipicamente brasileiras que apresentam blindagens conforme descrito por SALINAS *et al.* (2006a, 2006b). Nesta abordagem, foi considerado que todas as casas possuíam apenas um andar, com forro do próprio material de construção, e localizadas no centro de uma área gramada.

Adicionalmente, foram efetuadas simulações para dois tipos de áreas externas:

Parque – área ampla, aberta, gramada e com árvores;

Rua – rua pavimentada, com algumas árvores e prédios próximos.

A simulação de parques e ruas também foi efetuada considerando uma ocupação integral. Ambas as áreas representam, na simulação indivíduos adultos sem qualquer tipo de blindagem como proteção à exposição ao  $^{137}\text{Cs}$ , localizados em uma área gramada e em outra asfaltada, respectivamente. Comentários sobre a ocupação destas áreas são efetuados junto à apresentação dos resultados.

#### **4.2.2 Áreas rurais**

Para áreas rurais, os cenários básicos consideram uma deposição de  $1 \text{ kBq/m}^2$  de  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{131}\text{I}$ . As simulações para cada um dos radionuclídeos são realizadas de forma independente, uma vez que um termo-fonte real de acidente sempre possui composições variadas desses nuclídeos conforme o tipo de liberação e as condições meteorológicas vigentes naquele momento. Os três nuclídeos foram selecionados por terem sido significativos para a exposição de membros do público após o acidente de Chernobyl. O  $^{131}\text{I}$  teve grande relevância na fase inicial, o  $^{137}\text{Cs}$  foi significativo a curto, médio e longo prazos, e o  $^{90}\text{Sr}$  teve um contribuição relevante a longo prazo (IAEA, 2006, 1991).

Em relação aos hábitos de consumo de alimentos, foi estabelecido um cenário básico, baseado nas taxas de ingestão médias *per capita* por tipo de alimento para o Rio de Janeiro, conforme descrito pelo estudo de consumo familiar do IBGE (2010). As taxas de ingestão usadas estão apresentadas na Tabela 4.1, considerando um indivíduo adulto (IBGE, 2010). Como existe produção de todos os itens da dieta na área de estudo, foi considerado, de forma conservativa, que todo o alimento consumido é proveniente da área contaminada. Na apresentação dos resultados, será discutida a relevância da dieta e da origem dos alimentos nas doses e na eficiência de medidas de proteção da população.

**Tabela 4.1. Taxas de ingestão de produtos produzidos na área contaminada (IBGE, 2010).**

Item	Consumo (g/d)
CEREAL	118
LEGUMINOSA	32
FOLHOSA	8
FRUTOSA	41
TUBEROSA	47
FRUTA	77
CARNE	66
FRANGO	37
LEITE	164

Ressalta-se aqui que, embora exista outra nomenclatura amplamente utilizada por agrônomos para esses produtos alimentares, neste trabalho foi decidido empregar aquela que foi estabelecida pelo IBGE, em seus estudos de consumo familiar (IBGE, 2010).

O  $^{131}\text{I}$  foi considerado o responsável por muitos casos de câncer de tireoide observados em crianças, em especial aquelas que eram bebês no momento do acidente de Chernobyl e que moravam nas áreas contaminadas da Ucrânia, Rússia e Bielorrússia (UNSCEAR, 2011; IAEA, 2006). Este fato aconteceu porque, nessas áreas rurais, crianças que já haviam desmamado eram alimentadas com leite proveniente de vacas criadas na própria região. Desta forma, decidiu-se dar uma relevância especial a esta via de exposição e foi simulado um cenário para crianças na faixa de 0 a 1 ano com

ingestão diária de 800 g/d de leite. É importante destacar que, para a contaminação do leite, foi considerado que o gado está consumindo pasto fresco o ano inteiro.

Devido a limitações do programa para simular medidas mais complexas, a principal medida simulada foi a retirada de consumo de cada um dos itens alimentares em diferentes períodos após o acidente. Esta não só é a medida mais eficaz em termos de redução de dose como, a partir destes resultados, é possível extrapolar os resultados de outras medidas (tais como: descascar, cozinhar, atrasar o consumo, estocar, moer, lavar), em função da sua eficiência em reduzir a contaminação dos alimentos.

### **4.3 Simulação das medidas utilizando o SIEM**

A partir dos cenários básicos estabelecidos para a análise, apresentados no tópico anterior, foram efetuadas simulações do comportamento da contaminação nas diferentes superfícies que constituem uma área urbana, primeiro sem aplicação das medidas e proteção e de remediação e depois com a aplicação delas, de forma a avaliar a redução na taxa de dose obtida a partir de cada uma das medidas de proteção e de remediação simuladas, a curto, médio e longo prazos, para cada um dos cenários.

O processo atualmente em desenvolvimento se aplica a processos de remediação de áreas contaminadas, após o período inicial em que medidas de proteção da população são prioritárias e decisões relacionadas aos efeitos imediatos à saúde já tenham sido tomadas. Desta forma, o que se propõe a avaliar são as consequências devido ao material depositado, após a passagem da pluma radioativa.

Para áreas urbanas, as doses foram estimadas utilizando o modelo PARATI, incluído no SIEM. As medidas de remediação simuladas para áreas urbanas foram aplicadas em diferentes momentos após o evento de deposição: 7 dias, 15 dias, 1 mês, 2 meses, 6 meses e 1 ano após a contaminação. Contudo, em razão da limitação do próprio SIEM, não foi possível simular todas as medidas apresentadas na base de dados. Apenas algumas delas, relacionadas com: casas e seus arredores, ruas, áreas gramadas e ingestão de produtos agrícolas puderam ser avaliadas através do SIEM.

As medidas de remediação simuladas para áreas urbanas foram:

- Corte de grama – foi considerado como sendo realizado no entorno das cinco casas e na área do parque;

- Capina – esta medida inclui a remoção do gramado e a região da rede de raízes (cerca de 1 cm da camada de topo do solo no entorno das casas e no parque);

- Remoção de solo – corresponde à retirada de uma camada de 5 cm da superfície do solo no entorno das cinco casas e na área do parque;
- Raspagem de paredes – simulada apenas nas cinco casas;
- Lavagem de paredes – simulada nas cinco casas e nas ruas;
- Lavagem de pavimentos – simulada apenas nas ruas;
- Raspagem de telhas – simulada apenas nas cinco casas;
- Lavagem de telhas – simulada apenas nas cinco casas;
- Troca de telhas – simulada apenas nas cinco casas;
- Corte de árvores – corresponde à poda de árvores localizadas nas ruas e na área do parque.

É importante salientar que o SIEM considera a possibilidade de contaminação do interior das casas, através da entrada de partículas de poeira contendo radionuclídeos pelas portas, pelas janelas ou até pelas solas dos calçados do público bem como sua remoção através da limpeza diária dos ambientes residenciais urbanos (CONTI, 2002; CONTI *et al.*, 2002).

No caso das áreas rurais, foram realizadas simulações de acidentes ocorrendo nas quatro estações do ano, contendo liberações de  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{131}\text{I}$ , também utilizando o código SIEM. A análise engloba um período de 50 anos a partir do momento da deposição acidental sendo que, para o  $^{131}\text{I}$ , a análise é feita apenas para o primeiro ano após a deposição, devido à sua meia-vida curta.

Numa primeira abordagem, foi definido que a alimentação dos grupos expostos seria totalmente proveniente da área contaminada. O efeito do grau de sustentabilidade desses grupos é discutido baseado nos resultados obtidos. Para fins de avaliação comparativa dos resultados, os cálculos foram efetuados considerando uma deposição inicial de  $1 \text{ kBq/m}^2$  de área plantada. As doses estimadas se referem a doses efetivas comprometidas devido à ingestão de produtos agropecuários.

Os dados relativos ao cultivo dos vegetais e às práticas agropecuárias estão descritas em VINHAS *et al.* (2005). Este trabalho descreve detalhadamente o comportamento dos diferentes alimentos em função do tempo, bem como sua relevância para a dose de ingestão do público. A autora também compara a dinâmica das concentrações e das doses entre indivíduos do Brasil e dos países europeus, para os quais o modelo ECOSYS (MÜLLER E PRÖHL, 1993) foi originalmente desenvolvido.

A análise da eficácia das medidas de proteção e de remediação para este tipo de área é mais complexa do que a análise em áreas urbanas, pois os efeitos dessas medidas

vão depender de diversos fatores, além da composição do termo-fonte de contaminação. Nesta etapa, portanto, foram avaliados os efeitos relacionados à dieta e à sazonalidade. Conforme mencionado anteriormente, a medida simulada foi a retirada de consumo de cada item da dieta de forma individual, conforme descrito na Tabela 4.1.

Para o caso de ingestão de leite por bebês e por adultos, foi também avaliado o efeito do momento de aplicação da medida na eficiência para reduzir as doses. Para isto, foi considerado que a retirada de consumo ocorreu 1, 7, 15, 30, 60, 90 e 180 dias após a contaminação acidental.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Base de dados

Inicialmente, a base de dados apresentava 98 medidas de proteção e de remediação possíveis de serem aplicadas a ambientes urbanos, rurais, aquáticos e florestais. Após a avaliação inicial, as medidas aplicáveis a florestas foram retiradas da base de dados porque as informações levantadas nas referências tinham origem em publicações internacionais, exclusivamente de países de clima temperado (EUA e principalmente os da Europa). Portanto, o foco das medidas encontradas na literatura se aplicava a ecossistemas e usos diferentes daqueles relativos a ambientes tropicais, que é o caso da região de estudo selecionada (Angra dos Reis). Ainda durante a fase de análise, foi decidida a classificação para organização das medidas. Dentro dessa classificação estabelecida, a base de dados foi reorganizada e complementada e, por fim, incluiu 81 medidas a serem aplicadas em ambientes urbanos, rurais e aquáticos. Esta base é apresentada no anexo, que se encontra no formato de CD.

Os campos de descrição incluídos apresentam as principais características para serem utilizadas como parte do critério de decisão, tais como: eficácia na redução da concentração ambiental relacionada ao período do ano e aos aspectos sazonais, as características dos rejeitos, a viabilidade e os custos de aplicação das medidas. Para cada tipo de ambiente, as medidas foram divididas de acordo com suas principais características. Também existem subdivisões de acordo com o tipo de superfície sobre a qual a medida poderá ser aplicada. A descrição das medidas inclui cinco grupos principais de informação, denominados “Aspectos Gerais”, “Aspectos Técnicos”, “Infraestrutura”, “Rejeitos” e “Outros Aspectos”. Cada um desses grupos engloba alguns campos, os quais são descritos abaixo:

- a) Aspectos Gerais – este campo inclui os seguintes itens: nome da medida, tipo de área a qual se aplica (urbana, rural, ambiente aquático ou florestal), objetivo de aplicação da medida, suas principais características, principais características de como ela deve ser aplicada de forma eficaz para reduzir a exposição do público, tipo de exposição que ocorrerá, superfícies que poderão ser alvo dos procedimentos, e radionuclídeos para os quais a medida pode ser útil na redução das exposições. Um campo adicional descreve ainda a escala de aplicação, por



exemplo: se a medida é viável para ser aplicada em grandes áreas contaminadas ou em casas e prédios de forma individual;

- b) Aspectos Técnicos – este campo contém: uma descrição das vias de exposição e os principais processos a serem afetados para reduzir a exposição, a eficácia da medida na redução da taxa de dose ou de concentrações ambientais e indicações sobre o melhor momento para aplicar a medida a fim de obter o maior benefício. Sob o subtítulo “restrições técnicas”, são descritas as características específicas da superfície-alvo que podem afetar o efeito da medida, tais como: materiais de acabamento, tipo de construção, tipo de cultura agrícola, etc. Inclui ainda a descrição de fatores que podem afetar a dose evitada para a população, como por exemplo, densidade demográfica e hábitos da população. Um campo específico descreve ainda a dose esperada para os trabalhadores envolvidos na operação de limpeza;
- c) Infraestrutura – neste campo, são descritas as necessidades de equipamentos e materiais específicos, a necessidade de pessoas qualificadas ou a necessidade de treinamento de pessoas para operar máquinas ou equipamentos. Também são encontrados aspectos relacionados com a segurança tanto dos trabalhadores quanto do público e aspectos que podem afetar o custo de implantação na área, tais como o tamanho e a complexidade da área a ser limpa;
- d) Rejeitos – neste campo, são apresentados os tipos e quantidades de rejeitos gerados por unidade de área tratada;
- e) Outros Aspectos – neste campo, são expostos: outros impactos, não radiológicos, associados à aplicação da medida, a existência de experiência prática relacionada à aplicação dessa mesma medida e referências bibliográficas sobre a medida e outros aspectos que podem ser necessários em um processo de tomada de decisão. Por exemplo: o controle a longo prazo da área, ou a variabilidade opcional no processo principal de acordo com as características específicas da área a ser tratada.

Um aspecto importante, que também influenciará os custos e os riscos, está associado ao gerenciamento do rejeito radioativo gerado. Estes aspectos, no entanto, não

foram incluídos na base de dados por se tratar de uma área a ser incluída de forma específica na avaliação multicritério, incluindo aspectos como acondicionamento do rejeito, tipo de transporte a ser utilizado, distância a ser percorrida, necessidade de depósitos temporários, doses ocupacionais, entre outros. Em alguns casos, o atraso do procedimento pode ser útil para contemplar, de forma mais organizada, as decisões de estratégia de deposição de rejeitos, reduzindo as exposições ocupacionais relacionadas com o armazenamento e o transporte dos rejeitos removidos.

Aspectos psicológicos e de aceitação pública também não foram incluídos, devendo também compor uma área específica, considerando as diferenças culturais significativas entre o Brasil e os países onde a experiência prática, relacionada ao acidente de Chernobyl, é descrita na literatura atual. Além disso, os aspectos econômicos deverão ser desenvolvidos em um trabalho separado, principalmente devido à grande diversidade de recursos disponíveis, dependendo do tipo e da localização da área afetada.

A estrutura geral da base de dados é apresentada Tabela 5.1. Para cada tipo de ambiente, as medidas de proteção e de remediação foram subdivididas de acordo com o tipo de procedimento envolvido e suas principais características (RESTRAT-TD 14, 1999). Para áreas urbanas, as medidas foram classificadas em: remoção, lavagem/limpeza, recobrimento e diluição (Tabela 5.2).

Em relação a áreas rurais, as medidas foram classificadas em: evitar contaminação, diluição, remoção, recobrimento, alteração de uso da área, tratamento do solo, tratamento de animais, alteração de prática e controle e se encontram de forma resumida na Tabela 5.3.

Para ambientes aquáticos, as medidas incluídas envolvem ações em relação à água e em relação aos alimentos de origem aquática (Tabela 5.4).

A base de dados se encontra concluída, anexada a este documento (em formato pdf), constituindo-se em uma publicação institucional, a fim de que ele esteja disponível para consulta. As informações dessa base vão servir para que, no evento de um acidente que leve à contaminação do meio ambiente, exista uma base de dados pré-estabelecida de apoio a um processo de tomada de decisão, focalizando os aspectos radiológicos da situação.

Conforme já discutido anteriormente, a informação na literatura acerca da eficiência das medidas não fornece dados de redução de dose. Por isso, a partir dos

cenários descritos neste trabalho, foram efetuadas diversas simulações para verificar a eficiência dessas medidas, em função do momento de sua aplicação.

Apenas as simulações de ambientes terrestres urbanos e rurais foram efetuadas, uma vez que os modelos disponíveis no SIEM foram desenvolvidos apenas para este tipo de ambiente.

**Tabela 5.1. Estrutura da base de dados.**

<i>Aspectos Gerais</i>	<i>Tipo de área</i>
	<i>Alvo de aplicação</i>
	<i>Tipo de medida</i>
	<i>Nome da medida</i>
	<i>Objetivo</i>
	<i>Descrição da medida</i>
	<i>Alvo</i>
<i>Aspectos Técnicos</i>	<i>Radionuclídeos</i>
	<i>Escala de aplicação</i>
	<i>Via de exposição</i>
	<i>Momento de aplicação</i>
<i>Infraestrutura</i>	<i>Restrições técnicas</i>
	<i>Eficácia da contramedida (medida de proteção e de remediação)</i>
	<i>Fatores técnicos que influenciam a eficácia do procedimento</i>
<i>Rejeitos</i>	<i>Necessidade de equipamento específico</i>
	<i>Materiais de consumo requeridos</i>
	<i>Habilidades requeridas</i>
	<i>Precauções de segurança</i>
<i>Outros Aspectos</i>	<i>Fatores que influenciam os custos</i>
	<i>Quantidade</i>
	<i>Tipo</i>
	<i>Fatores que influenciam a dose evitada</i>
	<i>Dose adicional</i>
<i>Outros Aspectos</i>	<i>Outros impactos</i>
	<i>Experiência prática</i>
	<i>Referências</i>
	<i>Comentários</i>

**Tabela 5.2. Medidas de proteção/remediação descritas para áreas urbanas.**

<i><b>Tipo de Medida</b></i>	<i><b>Nome da medida</b></i>
<i>1. Remoção</i>	<i>raspagem de ruas</i>
	<i>corte de grama</i>
	<i>capina (solo e capim)</i>
	<i>poda de árvores</i>
	<i>remoção do solo superficial (mm)</i>
	<i>remoção de solo superficial (cm)</i>
	<i>remoção de pavimentos</i>
<i>2. Lavagem/limpeza</i>	<i>remoção de telhas</i>
	<i>lavagem com mangueira de incêndio</i>
	<i>lavagem com aspiração a vácuo</i>
	<i>lavagem a alta pressão (paredes)</i>
	<i>lavagem com produtos químicos (paredes)</i>
	<i>lavagem com água (telhas)</i>
	<i>lavagem com produtos (telhas)</i>
<i>abrasão mecânica (paredes)</i>	
<i>3. Recobrimento</i>	<i>limpeza de superfícies internas</i>
	<i>inversão de pedras e placas</i>
	<i>recobrimento com areia ou solo</i>
	<i>recobrimento com cimento ou asfalto</i>
<i>4. Diluição</i>	<i>inversão de camadas de solo</i>
	<i>aragem de parques e jardins</i>

**Tabela 5.3. Medidas de proteção/remediação descritas para áreas rurais.**

<i>Tipo de Medida</i>	<i>Nome da medida</i>
<i>Evitar contaminação</i>	<i>recobrir mudas/vegetais</i>
	<i>colheita antecipada</i>
	<i>recolher gado</i>
	<i>evitar ingestão de pasto contaminado</i>
<i>Diluição</i>	<i>aragem</i>
<i>Remoção</i>	<i>remoção da camada de topo do solo</i>
	<i>reter produtos do consumo</i>
	<i>proibir caça e pesca</i>
<i>Recobrimento</i>	<i>evitar irrigação com água contaminada</i>
	<i>estabilização para evitar ressuspensão</i>
<i>Alteração de uso da área</i>	<i>inversão de camadas de solo</i>
	<i>seleção de tipo de cultura alternativa</i>
	<i>seleção de tipo de animal alternativo</i>
	<i>alteração do tipo de pasto</i>
<i>Tratamento do solo</i>	<i>alteração da dieta animal</i>
	<i>processamento de produtos</i>
	<i>adição de bases a solos ácidos</i>
<i>Tratamento de animais</i>	<i>adição de resíduos orgânicos</i>
	<i>adição de fertilizantes fosfatados</i>
	<i>adição de Azul da Prússia de absorção rápida</i>
	<i>adição de Azul da Prússia de absorção lenta</i>
	<i>adição de argilas minerais à dieta</i>
<i>Alteração de prática</i>	<i>adição de cálcio à dieta</i>
	<i>adição de fibras à dieta</i>
	<i>adição de iodo estável à dieta</i>
	<i>adição de produtos p/ redução de absorção gastrointestinal</i>
<i>Controle</i>	<i>descarte ou estocagem de produtos</i>
	<i>atraso na colheita de produtos</i>
	<i>alterar momento de abate de gado</i>
	<i>alterar preparo de ração animal</i>
	<i>monitoração de animais antes do abate</i>

**Tabela 5.4. Medidas de proteção/remediação descritas para ambientes aquáticos.**

<i>Tipo de Medida</i>	<i>Nome da medida</i>
<i>Água</i>	<i>abastecimento alternativo</i>
	<i>tratamento de água</i>
	<i>alteração no regime de captação de água</i>
	<i>mistura controlada da água</i>
<i>Peixes</i>	<i>proibição de pesca</i>
	<i>limitar tipo e quantidade de peixe consumido</i>
	<i>processamento de peixes</i>
	<i>fornecimento de alimento peletizado não contaminado</i>
	<i>tratamento da água ou do sedimento</i>
	<i>drenagem de lagos e remoção da camada de topo de sedimento</i>

## **5.2 Simulação de áreas urbanas**

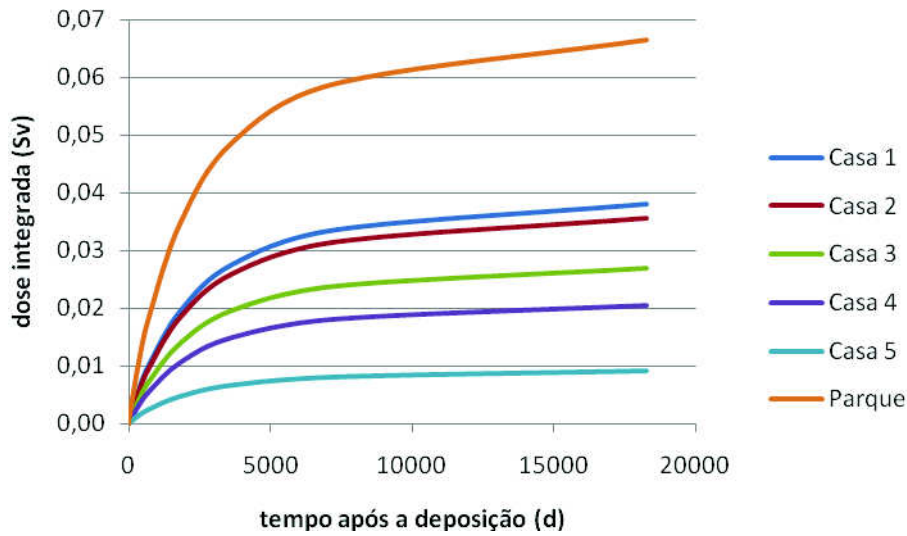
### ***5.2.1 Avaliação comparativa de cenários urbanos***

A Figura 5.1 apresenta os resultados de dose integrada em seis cenários urbanos simulados, sem aplicação de medidas de proteção e de remediação. Observa-se que todas as casas oferecem blindagem significativa, quando comparadas com as áreas externas (parque), porém com diferenças relacionadas ao tipo de material de construção. As casas de alvenaria simples, construídas com tijolos de baixa densidade sem acabamento (casa 2), típicas das favelas do sudeste do Brasil, oferecem proteção semelhante às casas europeias de madeira (casa 1), enquanto que nossas casas de alvenaria com bom acabamento (casa 4) oferecem blindagem significativamente inferior àquela das casas europeias (casa 5), devido às diferenças de densidade e composição do material dos tijolos, conforme observado por SALINAS *et al.* (2007, 2006a, 2006b).

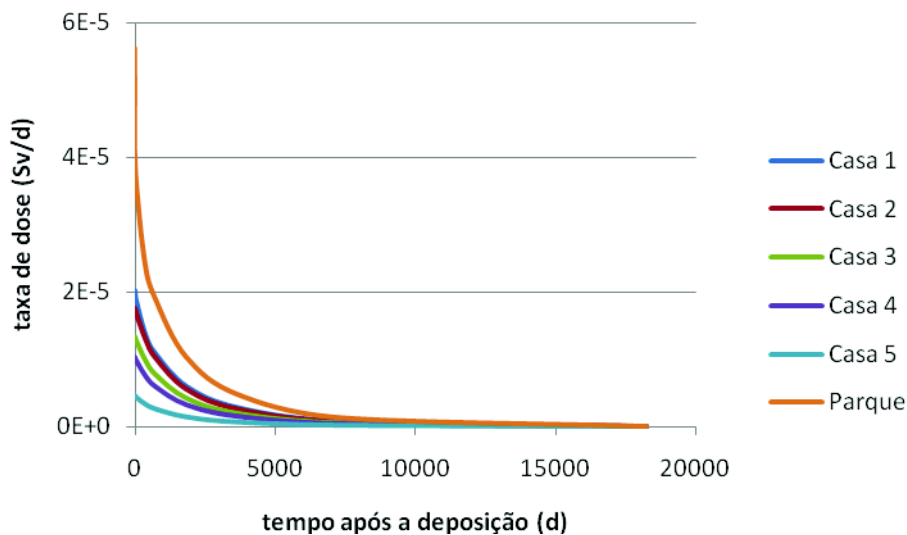
A Figura 5.2 mostra o comportamento da taxa de dose ao longo do tempo, para os mesmos cenários. Pode ser observada a relevância da taxa de dose logo após a contaminação, em relação à taxa de dose em longo prazo, bem como a diferença entre as taxas de dose nos diversos ambientes simulados.

Para todas as casas, a dose recebida no primeiro ano corresponde a 15,5% da dose recebida em 50 anos (18250 dias) e 50% da dose total é recebida nos 5 primeiros anos (1825 dias) após a contaminação (Figura 5.3). Para parques, a dose do primeiro

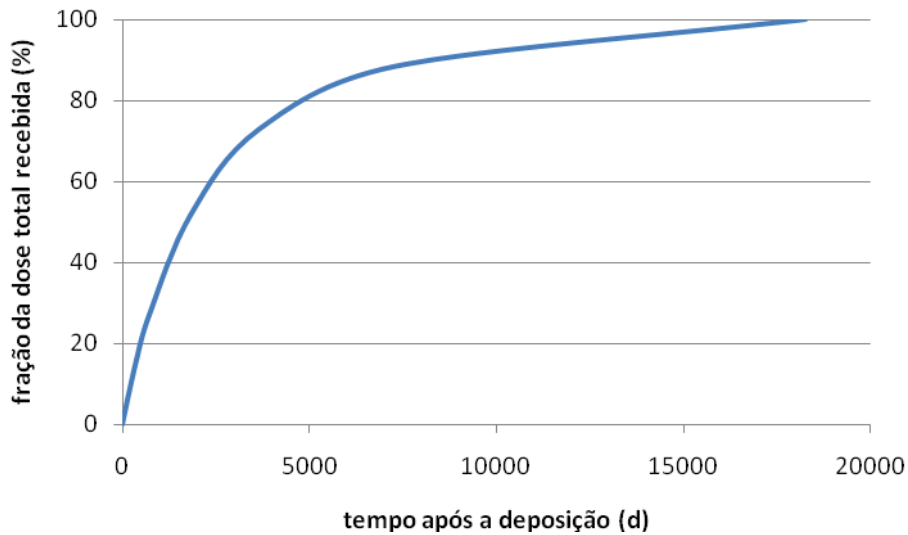
ano corresponde a 16,3% da dose total em 50 anos, sendo que 50% da dose total é recebida também em menos de 5 anos após a contaminação.



**Figura 5.1. Dose integrada em adultos com ocupação integral (24 h/d), considerando seis diferentes cenários simulados, devido a uma deposição de 1 MBq/m<sup>2</sup> de <sup>137</sup>Cs sem aplicação de medidas de proteção e de remediação.**

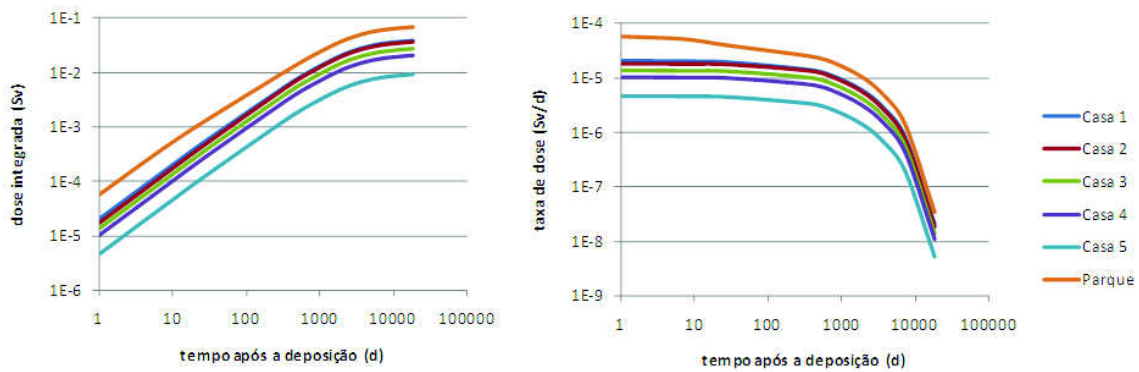


**Figura 5.2. Taxa de dose em adultos com ocupação integral (24 h/d), considerando seis diferentes cenários simulados, devido a uma deposição de 1 MBq/m<sup>2</sup> de <sup>137</sup>Cs sem aplicação de medidas de proteção e de remediação.**



**Figura 5.3. Fração da dose total recebida em função do tempo após a deposição.**

As Figuras 5.1, 5.2 e 5.3 foram colocadas em escala linear, de forma a permitir a visualização da dinâmica associada a um evento acidental. A Figura 5.4 apresenta os mesmos dados das Figuras 5.1 e 5.2 em escala logarítmica. Esta escala vai ser utilizada no resto do trabalho por facilitar a visualização dos efeitos das medidas de proteção e de remediação na redução de doses.

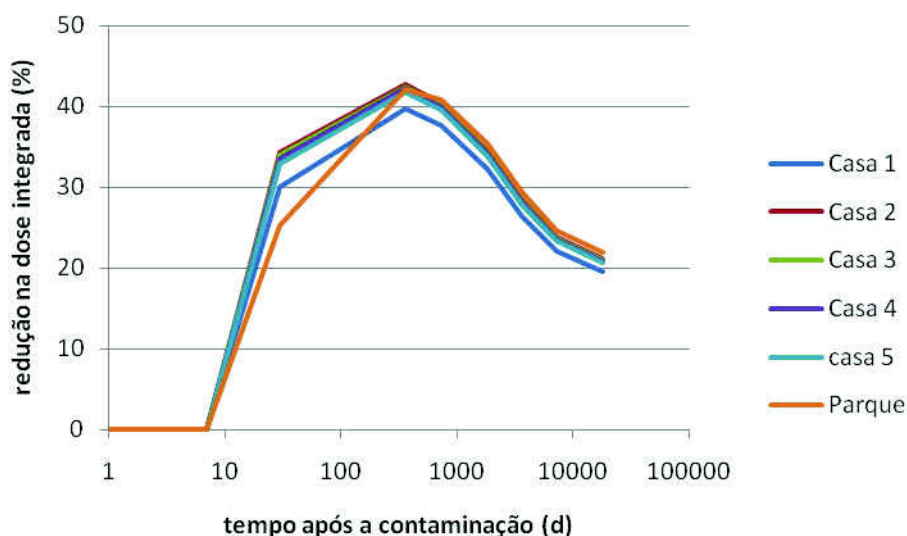


**Figura 5.4. Dose integrada e taxa de dose em adultos com ocupação integral (24h/d), considerando seis diferentes cenários, devido a uma deposição acidental de 1 MBq/m<sup>2</sup> de <sup>137</sup>Cs sem aplicação de medidas de proteção e de remediação.**

### 5.2.2 Simulação das medidas de proteção e de remediação

A Figura 5.5 apresenta a redução percentual na dose integrada devido ao corte de grama, uma semana após um evento de contaminação hipotético.



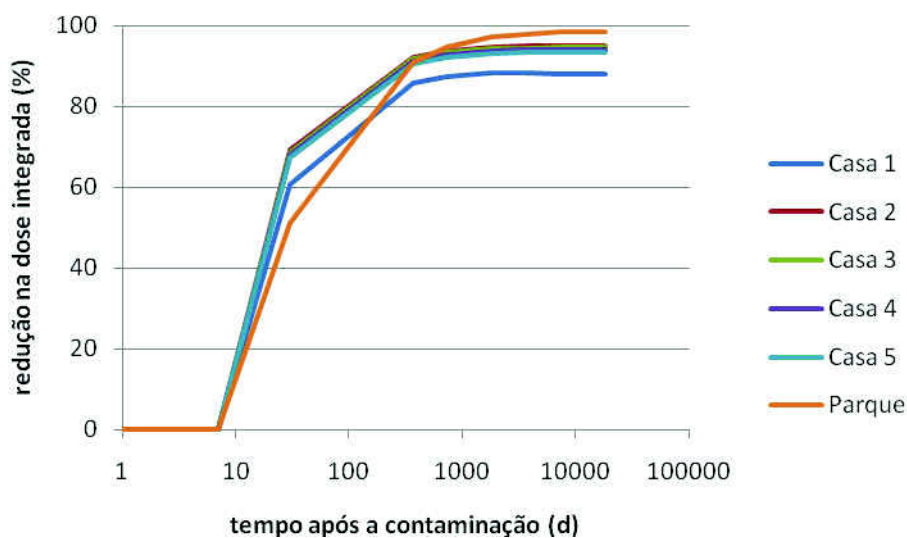


**Figura 5.5. Redução percentual na dose integrada devido ao corte de grama, 7 dias após a contaminação.**

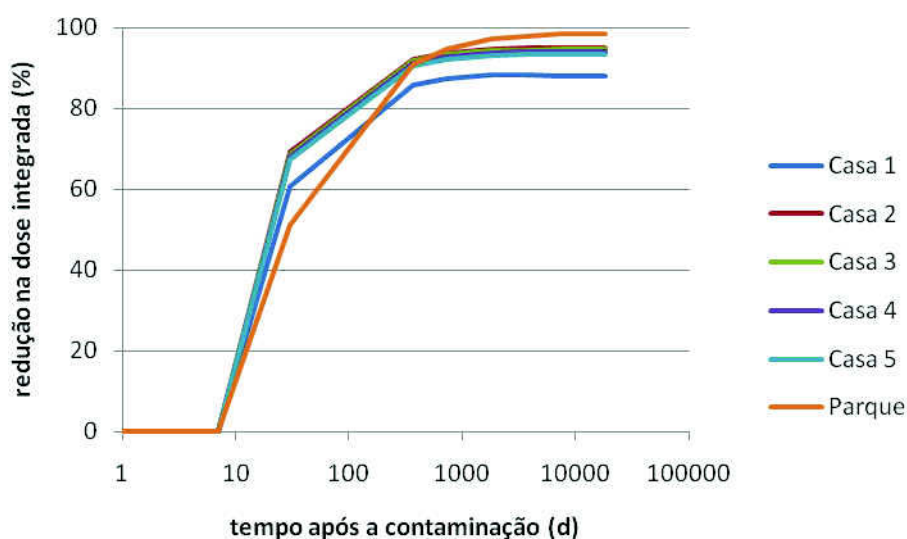
Observa-se que as curvas, para os diversos ambientes, são muito semelhantes. Deve, no entanto, ser observado que a mesma redução percentual na dose, decorrente da aplicação de uma medida de proteção e de remediação, vai levar a reduções diferentes nas doses efetivamente recebidas pelas pessoas.

Este mesmo tipo de comportamento também pode ser observado para a capina (remoção da grama com o solo da base da raiz, isto é, cerca de 1 cm do topo do solo), apresentado na Figura 5.6, e para a remoção de uma camada de 5 cm do topo do solo, apresentado na Figura 5.7. No caso apresentado, pode ser também observado que as duas medidas apresentam efeitos muito semelhantes porque, após 1 semana da contaminação, todo o material depositado se encontra ainda na camada de 1 cm do topo do solo.

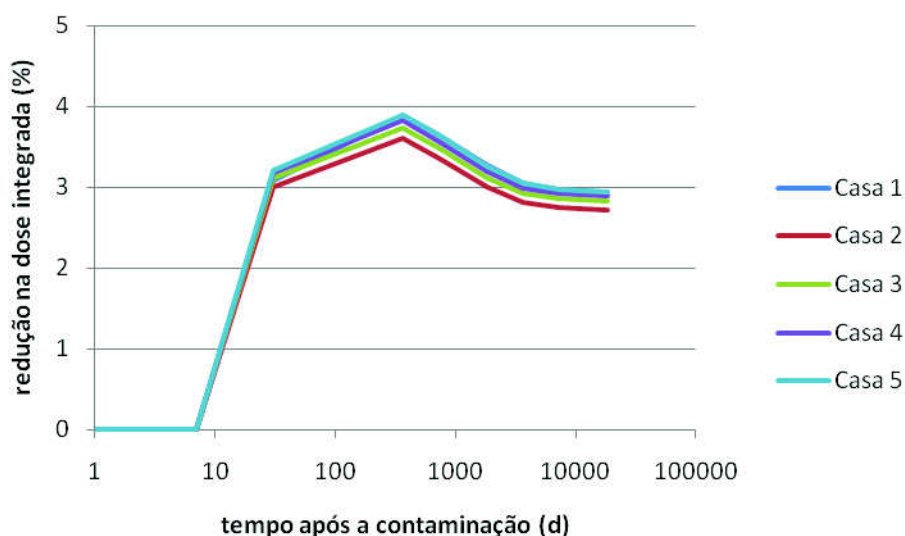
A Figura 5.8 mostra o efeito da raspagem de paredes. Observa-se que o efeito na redução de doses é muito inferior (não ultrapassa a 4%) ao efeito de medidas aplicadas a solo e grama, que pode chegar a valores superiores a 90%. No entanto, em algumas situações, ela pode ser aplicada, particularmente a curto prazo, porque a remoção imediata da contaminação evita que esta venha a ser deslocada de forma não controlada, por exemplo, por chuvas, para as superfícies horizontais subjacentes, criando pontos localizados de maior contaminação ao redor das casas.



**Figura 5.6. Redução percentual nas doses integradas de 50 anos devido a capina (associada a 1 cm da camada superior do solo), 7 dias após o evento de contaminação.**



**Figura 5.7. Redução percentual nas doses integradas de 50 anos devido à remoção da camada de 5 cm de topo do solo, 7 dias após o evento de contaminação.**



**Figura 5.8. Redução percentual nas doses integradas de 50 anos devido à raspagem de paredes, 7 dias após o evento de contaminação.**

É importante destacar que a baixa redução devido à raspagem de paredes ocorreu em simulações de casas cercadas por grama, sem outras habitações ao redor. Se, por exemplo, fosse adotado um outro tipo de cenário de exposição, considerando a presença de casas vizinhas, separadas ou não pelo gramado, provavelmente essa redução seria maior, uma vez que a contaminação das casas vizinhas estariam colaborando para aumentar a dose por exposição externa do público. Portanto, seria interessante, em estudos futuros, a simulação de cenários envolvendo diferentes distâncias entre casas vizinhas, a fim de que a relação entre a proximidade das casas contaminadas e a redução de dose sejam bem definidas.

Desta forma, pode ser observado que, para verificar o efeito de medidas de proteção e de remediação em áreas urbanas, pode-se trabalhar com apenas um tipo de ambiente, desde que os resultados sejam discutidos em relação à redução percentual devido à aplicação das medidas.

A Tabela 5.5 considera a eficácia da aplicação das principais medidas para áreas urbanas simuladas neste trabalho, levando em consideração que todas as medidas foram implantadas apenas 1 semana após o evento de contaminação.

Observa-se que a medida mais relevante é a remoção de solo (camada de 5 cm), seguida pelo corte de grama e lavagem de pavimentos. Em contrapartida, as medidas menos eficientes são aquelas relacionadas com as paredes (lavagem e raspagem) e com as telhas (lavagem, raspagem e troca).

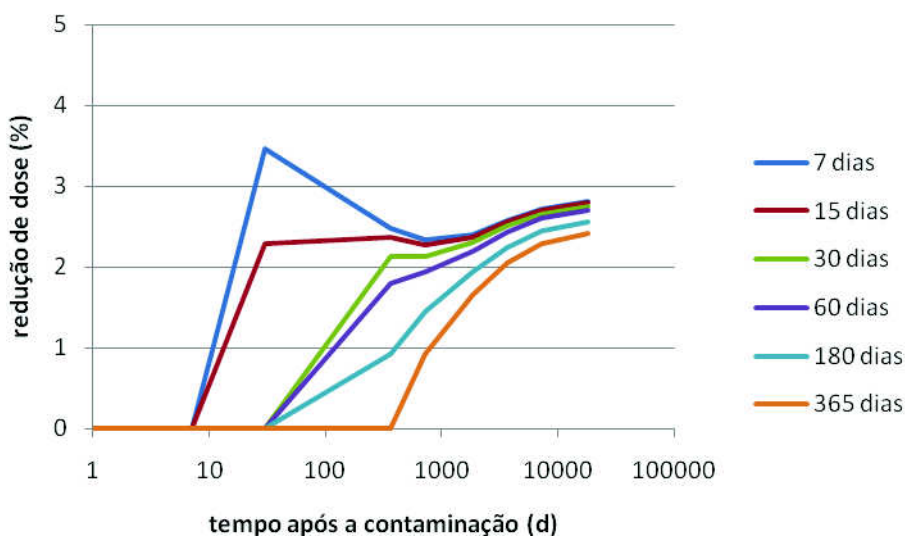
**Tabela 5.5. Eficiência das medidas de proteção e de remediação aplicadas a curto prazo em ambientes urbanos (1 semana).**

<i>medida</i>	<i>local</i>	<i>% redução de dose</i>	
		<i>1 ano</i>	<i>50 anos</i>
lavar paredes	casas	2,3 ± 0,7	0,77 ± 0,02
	ruas	0,6	0,4
raspar paredes	casas	4	2,5
lavar telhas	casas	0,55 ± 0,09	0,09 ± 0,01
raspar telhas	casas	2,1 ± 0,4	2,4 ± 0,4
trocar telhas	casas	2,1 ± 0,4	2,4 ± 0,4
	ruas	5,4	0,90
corte de árvores	parques	16	4,2
	ruas	27	20
lavar pavimentos	casas	40	21
remoção de solo (5 cm)	casas	92 ± 0,5	94 ± 0,5

Deve ser considerado, no entanto, que estes valores se aplicam à ocupação de 24 h/d no compartimento (local) considerado. Os valores de dose para um determinado grupo devem ainda levar em conta a ocupação relativa de cada ambiente pelos indivíduos deste grupo. Neste trabalho, as reduções de dose devido à aplicação de medidas de proteção e de remediação são avaliadas para cada tipo de ambiente considerando ocupação integral, sem considerar a composição de ambientes utilizados pela população na sua rotina diária. Esta abordagem é válida para aqueles ambientes de maior ocupação, como é o caso de residências, para fins de seleção de medidas a serem aplicadas. Porém, no caso de ambientes de ocupação mais restrita, como ruas e parques, a decisão sobre a aplicação de medidas deve considerar também a contribuição daquele ambiente para a dose total dos grupos expostos, considerando os hábitos e usos destes locais pelo público.

### 5.2.3 Avaliação do efeito do momento de aplicação das medidas

As Figuras 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 apresentam exemplos dos resultados relativos à aplicação de cada uma das medidas simuladas em diferentes momentos após o evento de contaminação. Nos casos apresentados, foi considerada a Casa 4, para as seguintes medidas: raspagem de telhas, raspagem de paredes, corte de grama e remoção de solo, respectivamente.



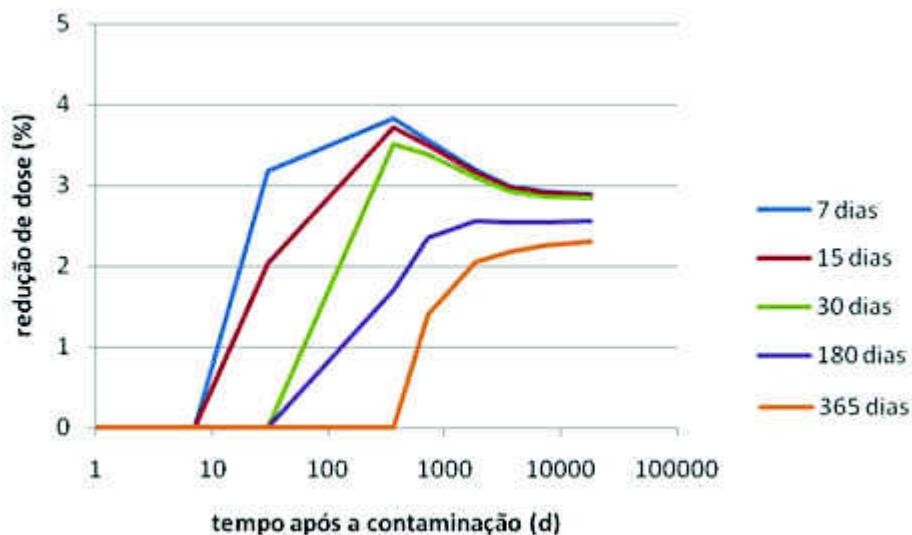
**Figura 5.9. Redução percentual na dose integrada, devido à raspagem de telhas, em função do momento de aplicação da medida.**

A raspagem de telhas (Figura 5.9) oferece uma redução muito baixa na dose no interior da residência, porém tem efeito semelhante na dose integrada de 50 anos para todos os momentos de aplicação. A redução de dose após 50 anos varia de 2,8 a 2,4%, para a aplicação após 1 semana e após 1 ano, respectivamente. Em relação à dose no primeiro ano, esta varia de 2,5 a 1% para a medida aplicada após 1 semana e após 6 meses, respectivamente.

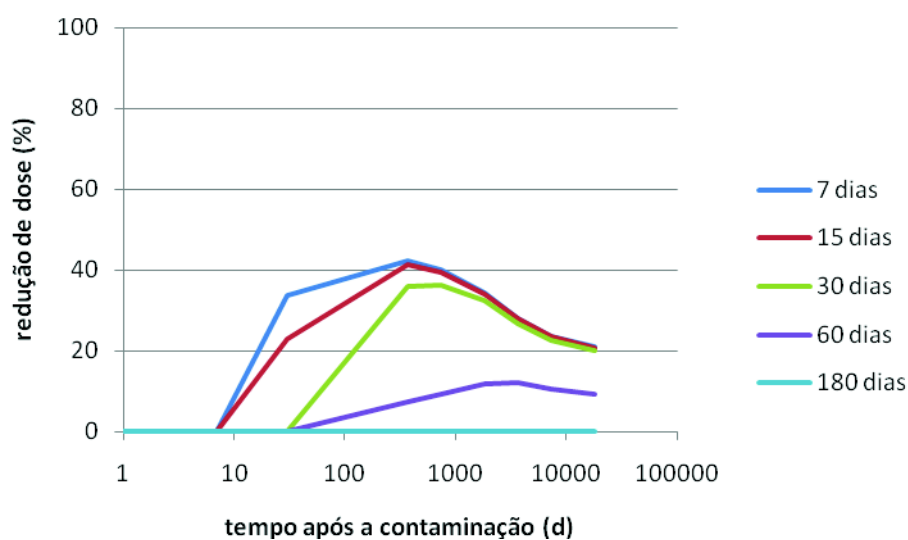
A raspagem de paredes (Figura 5.10) oferece uma proteção semelhante, embora a deposição em superfícies verticais seja menor do que a deposição em telhados. Mesmo assim, existem mais superfícies contribuindo para a exposição, no cenário de casa considerado. A redução percentual na dose integrada de 50 anos varia de 2,9%, para a medida aplicada após 1 semana, até 2,3%, para a medida aplicada após 1 ano.

A Figura 5.11 apresenta os resultados para o corte de grama. Pode-se observar que a medida é bastante eficaz se aplicada a curto prazo, até 30 dias, para a redução da

dose do primeiro ano e redução de cerca de 20% na dose integrada de 50 anos. Após este período, seu efeito na redução de dose diminui, sendo praticamente nulo se aplicada após cerca de seis meses da contaminação (180 dias).



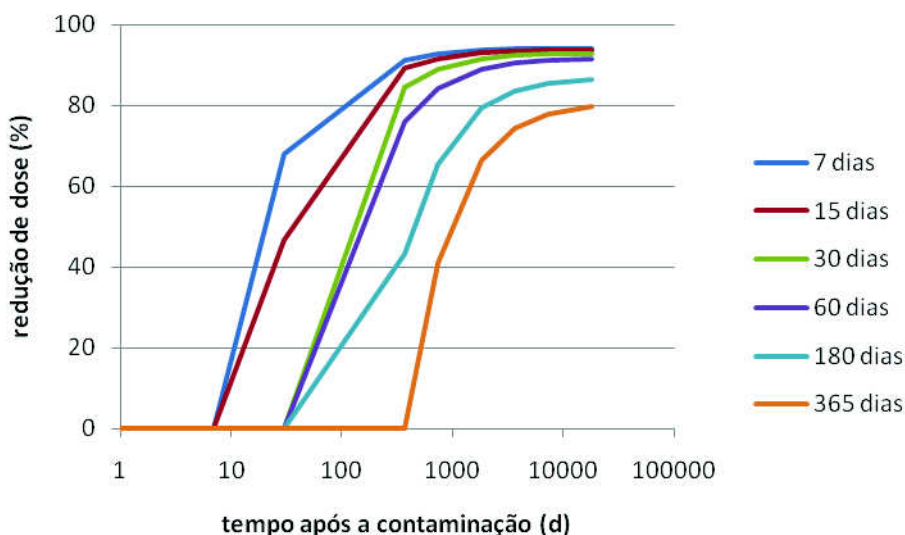
**Figura 5.10. Redução percentual na dose integrada, devido à raspagem de paredes, em função do momento de aplicação da medida.**



**Figura 5.11. Redução percentual na dose integrada, devido ao corte de grama, em função do momento de aplicação da medida.**

A Figura 5.12 apresenta os resultados para remoção da camada de 5 cm de topo do solo. Observa-se que a medida é eficaz, sendo capaz de reduzir a exposição em até

cerca de 80%, mesmo se aplicada 1 ano após a contaminação. Este tipo de medida, então, pode ainda ser aplicada a médio prazo, permitindo um planejamento adequado de gerenciamento do rejeito gerado. Por exemplo, mesmo após 1 ano, a simulação indica que medida é capaz de reduzir a dose de 50 anos em cerca de 80%.



**Figura 5.12. Redução percentual na dose integrada, devido à remoção de solo (camada de 5 cm do topo), em função do momento de aplicação da medida.**

A partir dos resultados obtidos, observamos que seria adequado classificar as medidas de proteção e de remediação de acordo com 2 critérios, que seriam a sua eficiência em reduzir as doses no primeiro ano, onde são observadas as maiores taxas de dose, e sua eficiência em reduzir a dose de longo prazo, considerando 50 anos para um indivíduo adulto no momento da contaminação. Os resultados obtidos para o cenário descrito e para as medidas simuladas estão resumidos na Tabela 5.6.

É importante ressaltar que, embora sejam eficientes na redução de doses, medidas como a remoção de solo possuem contraindicações, tais como a grande quantidade de rejeito gerado, a exposição de um grande número de pessoas durante a aplicação da medida e o gerenciamento posterior do rejeito gerado. Desta forma, por exemplo, o corte de grama deve ser efetuado rapidamente, e dependendo do equipamento utilizado, a coleta do rejeito pode ser automática. Cerca de 20% da dose de vida inteira (de 50 anos) dos indivíduos residentes na área seria evitada de maneira simples e rápida, enquanto que a remoção de solo poderia ser aplicada mais tarde, a

partir de um planejamento adequado do gerenciamento de rejeitos e, mesmo após 1 ano, esta medida ainda seria capaz de reduzir 80% da dose da população.

O SIEM permite simular não somente medidas individualmente, como também múltiplas medidas simultaneamente, de forma a possibilitar a avaliação do efeito combinado de várias medidas, as quais poderão ser utilizadas dentro de um processo de otimização. Ao fazer parte de um processo de decisão multicritério, essa otimização deve considerar outros aspectos, como, por exemplo, as doses ocupacionais, a aceitação por parte do público e os custos associados a diferentes estratégias de gerenciamento do rejeito radioativo gerado. O exemplo citado é apresentado, em relação à redução de doses no público, na Figura 5.12.

**Tabela 5.6. Efeito da aplicação das principais medidas de proteção e de remediação para áreas urbanas.**

<i>Medida Aplicada</i>	<i>Momento de Aplicação</i>	<i>Redução na Dose Integrada (%)</i>	
		<i>Médio Prazo (1 ano)</i>	<i>Longo Prazo (50 anos)</i>
<i>Corte de grama</i>	<i>1 a 30 dias</i>	<i>25 - 30</i>	<i>20</i>
	<i>&gt; 60 dias</i>	<i>0,01</i>	<i>0</i>
<i>Capina</i>	<i>1 a 6 meses</i>	<i>80</i>	<i>90</i>
	<i>6 meses a 1 ano</i>	<i>40</i>	<i>80</i>
<i>Remoção de solo</i>	<i>1 a 6 meses</i>	<i>90</i>	<i>90</i>
	<i>6 meses a 1 ano</i>	<i>40</i>	<i>80</i>
	<i>1 a 2 anos</i>	<i>–</i>	<i>50</i>
<i>Raspagem de paredes</i>	<i>&lt; 6 meses</i>	<i>3</i>	<i>3</i>
	<i>6 meses a 1 ano</i>	<i>1</i>	<i>2</i>

### 5.3 Simulação de áreas rurais

#### 5.3.1 Avaliação comparativa de cenários rurais

Neste trabalho, os cenários rurais consideram apenas a dose de ingestão de alimentos contaminados. No caso de acidentes com liberação atmosférica, conforme discutido em trabalhos anteriores (CONTI *et al.*, 2002; VINHAS *et al.*, 2005), existem



nesses cenários três processos distintos. O primeiro momento se deve à deposição foliar, onde altas concentrações são encontradas na folhas dos vegetais, sendo de grande relevância para a ingestão de vegetais folhosos e para produtos oriundos de animais em regime de pasto aberto. O material depositado nas folhas pode ser absorvido pelas folhas e assim ser translocado através da planta para a parte comestível de vegetais não folhosos, levando à contaminação de alimentos diretamente pelo processo de deposição. Estes dois processos são muito dependentes do estágio de crescimento do vegetal no momento da contaminação, tanto pela área verde disponível para receber a deposição, quanto pelo tempo necessário para o material se translocar através da planta até a parte comestível. Eles também estão associados principalmente às doses de curto prazo; portanto, existe uma dependência significativa da sazonalidade e das práticas agropecuárias locais nas doses recebidas devido à ingestão de produtos produzidos nas áreas afetadas pela liberação.

Desta forma, a interpretação de dados para áreas rurais é mais complexa do que para áreas urbanas, onde o comportamento a longo prazo depende diretamente apenas da deposição inicial, para um determinado compartimento, enquanto que a dinâmica ambiental nas áreas rurais é altamente dependente da época do ano em que ocorre o evento de contaminação. O terceiro processo se refere à absorção pela raiz de radionuclídeos presentes no solo e é o principal responsável pela dose residual de longo prazo, sendo basicamente dependente da deposição inicial.

A Figura 5.13 apresenta os resultados de dose de ingestão integrada para os radionuclídeos estudados, considerando acidentes ocorridos nas diferentes estações do ano. Observa-se que, no caso do  $^{137}\text{Cs}$ , cerca de 20 a 30% da dose é recebida no primeiro mês após a contaminação, enquanto que, para o  $^{90}\text{Sr}$ , este valor varia de 13 a 50%, dependendo da época do ano em que ocorre o acidente. Já para o  $^{131}\text{I}$ , mais de 90% da dose total é recebida no primeiro mês. Estes resultados ressaltam a relevância da dose a curto prazo para a dose total de vida inteira, considerada aqui como sendo 50 anos para adultos e 70 anos para crianças. O alto percentual da dose do iodo recebida logo no primeiro ano, em relação ao do céσιο e ao do estrôncio (Figura 5.13), reflete o efeito da meia-vida do radionuclídeo. A rápida transferência ambiental do iodo, associado à sua meia-vida curta indicam que medidas de proteção e de remediação em relação a este nuclídeo devem ser implantadas a curto prazo para serem eficazes.

O processo de otimização deve ser avaliado em relação a dois aspectos básicos: os grupos mais expostos e a dose coletiva. Em relação aos grupos mais expostos, estes

provavelmente serão grupos populacionais residentes nas áreas afetadas, com alto grau de subsistência de produtos locais. A dieta local é o fator mais relevante para a determinação das doses e da eficiência da aplicação de medidas de proteção e de remediação. Em áreas rurais, costuma ser alto o grau de subsistência em relação a leite e a vegetais de plantio próprio, normalmente vegetais folhosos e leguminosas.

O grau de subsistência em relação a vegetais tuberosos e a cereais depende da produção local. Desta forma, a prioridade das medidas deverá considerar especificamente a produção local, os hábitos de consumo dos grupos expostos e a época do ano em que ocorreu o acidente, não sendo possível estabelecer critérios prévios sem o devido conhecimento das práticas e hábitos específicos de cada local.

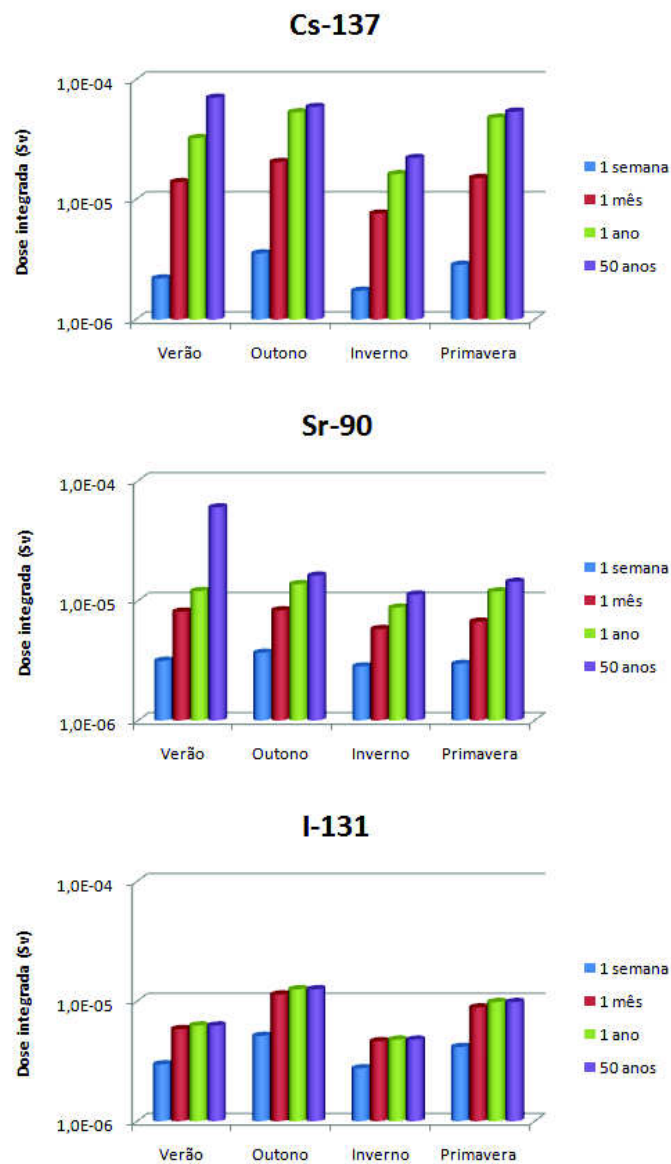
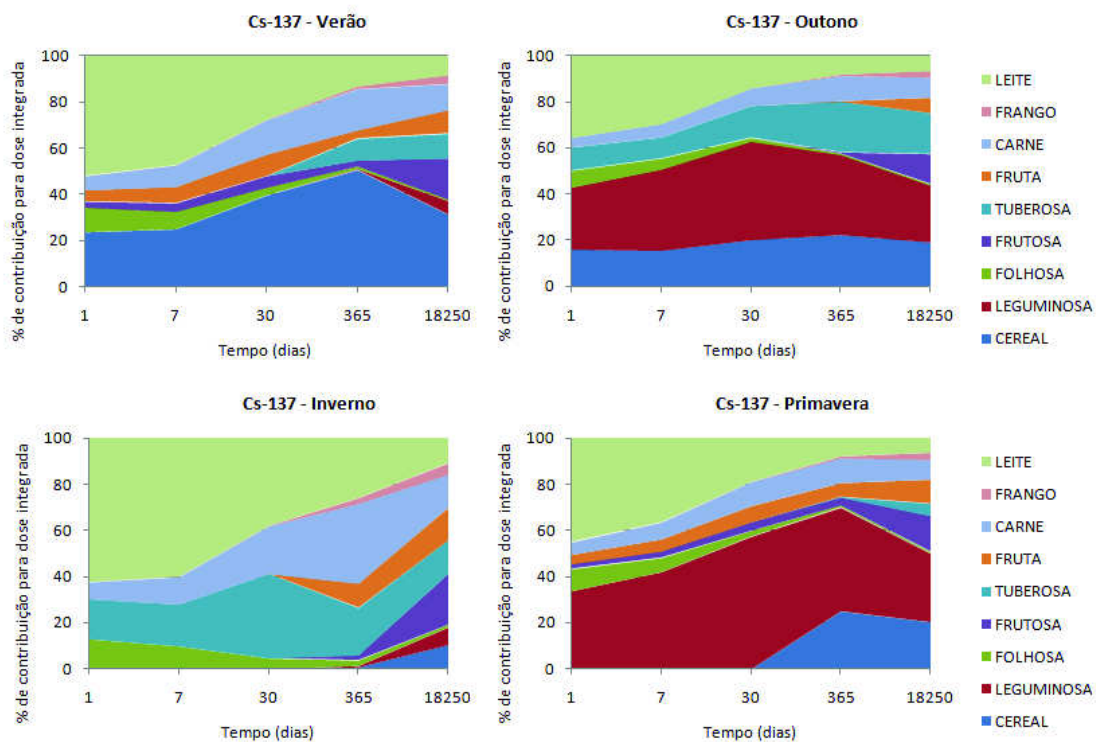


Figura 5.13. Dose integrada em função do tempo para os radionuclídeos  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  e  $^{131}\text{I}$ , para uma contaminação ocorrendo em diferentes épocas do ano.

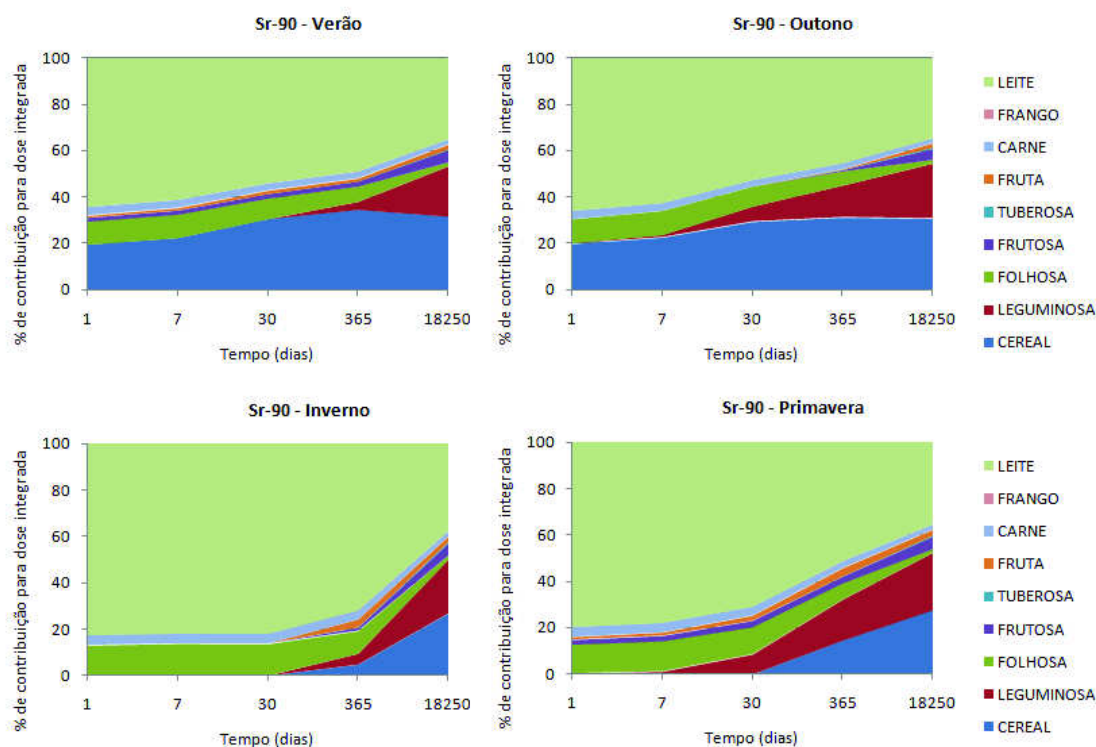
A Figura 5.14 apresenta os resultados para  $^{137}\text{Cs}$ , mostrando os tipos de alimentos que mais contribuem para a dose. Pode ser observado que tais alimentos variam com o tempo após a deposição e com o período do ano em que ocorre a deposição. Isto se deve aos diferentes estágios de crescimento dos vegetais e do pasto de acordo com a estação do ano, bem como à dinâmica do céσιο em cada tipo de vegetal. Considerando que cerca de 50% da dose é recebida no primeiro ano, verificamos, por exemplo, que, no caso de um acidente no verão, os alimentos que mais contribuirão para a dose são os cereais, a carne e o leite; no outono, são os cereais e os vegetais leguminosos e tuberosos; no inverno, a carne, o leite e os vegetais tuberosos; na primavera, leguminosas e cereais.



**Figura 5.14. Contribuição percentual dos diferentes tipos de alimento para a dose integrada, devido a  $^{137}\text{Cs}$ , em função do tempo, para acidentes ocorrendo em diferentes estações do ano.**

Os resultados para  $^{90}\text{Sr}$  estão apresentados na Figura 5.15. Pode ser observada a grande relevância do consumo de leite na dose por ingestão, para acidentes ocorrendo em qualquer época do ano, sendo a principal contribuição para a dose em curto, médio e

longo prazos. Medidas de proteção e de remediação relacionadas a este alimento devem ser priorizadas no caso de uma contaminação com  $^{90}\text{Sr}$ .



**Figura 5.15. Contribuição percentual dos diferentes tipos de alimento para a dose integrada devido a  $^{90}\text{Sr}$ , em função do tempo, para acidentes ocorrendo em diferentes estações do ano.**

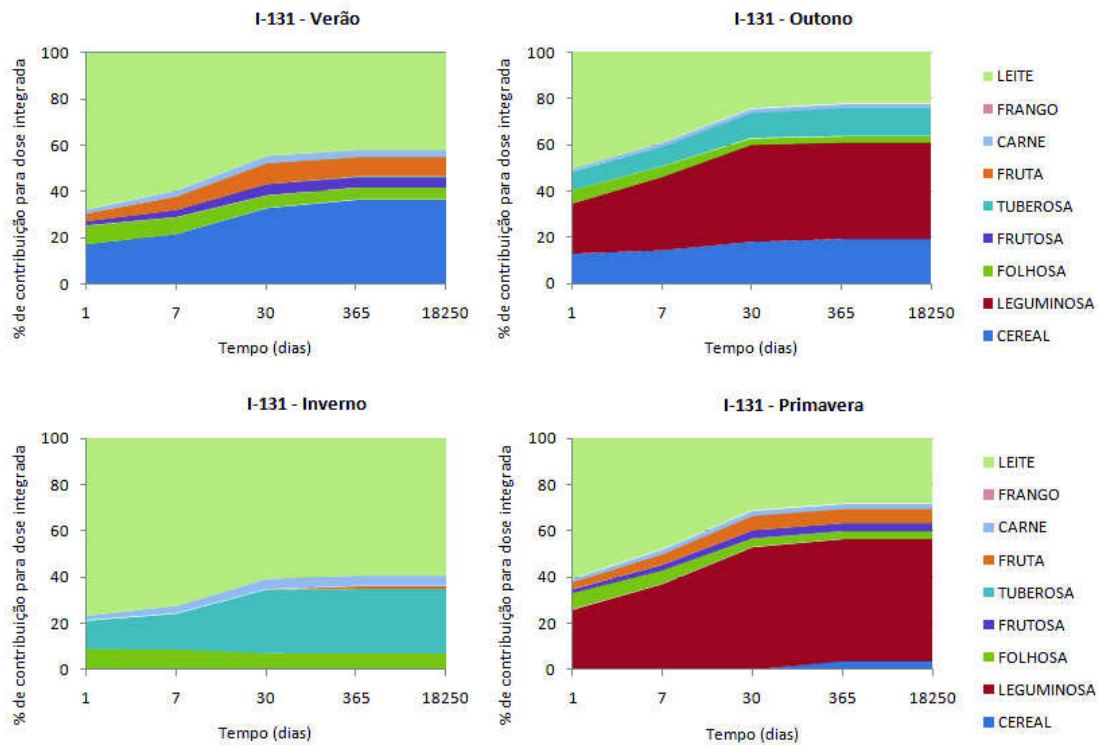
Os resultados para  $^{131}\text{I}$  são apresentados na Figura 5.16. Pode ser observado que, mesmo considerando uma população adulta, há relevância do leite na dose recebida devido à ingestão de alimentos.

Considerando que cerca de 90% da dose total é recebida no primeiro mês após a contaminação, as medidas de proteção e de remediação em relação a uma contaminação por iodo devem privilegiar a proteção em relação a este alimento e devem ter caráter urgente, devendo ser implantadas em muito curto prazo para serem eficientes.

As leguminosas devem ser avaliadas em relação a acidentes ocorrendo no outono e na primavera, necessitando de cuidados especiais em caso de produção para consumo próprio.

Os cereais podem ser relevantes para acidentes ocorrendo no verão e no outono, e a estocagem pode ser uma medida adequada para este tipo de alimento, considerando

a meia-vida relativamente curta do  $^{131}\text{I}$ . Esta medida, porém, não é eficaz para alimentos de meia-vida longa, como no caso de  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$  e sua eficiência deve ser avaliada considerando as características de composição da deposição total, incluindo todos os radionuclídeos depositados em uma determinada área.



**Figura 5.16.** Contribuição percentual dos diferentes tipos de alimento para a dose integrada devido a  $^{131}\text{I}$ , em função do tempo, para acidentes ocorrendo em diferentes estações do ano.

### 5.3.2 Aplicação de medidas de proteção e de remediação

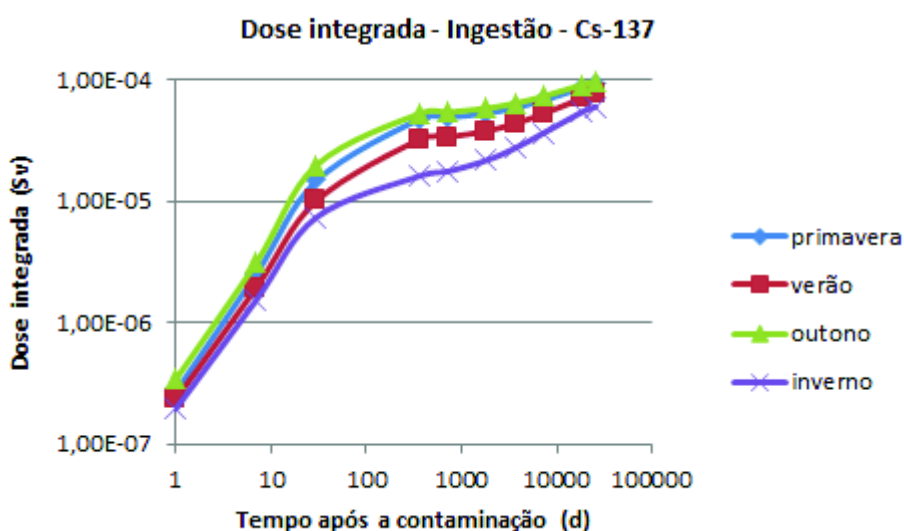
Neste trabalho, foi considerada a medida de proteção e de remediação mais eficiente na redução de doses, independente dos custos envolvidos, que é a retirada de consumo de cada um dos itens individuais que compõem a dieta de referência utilizada neste trabalho. Esta abordagem inicial nos permite avaliar comparativamente o efeito máximo possível devido à aplicação de medidas para o caso da dieta de referência para a região-alvo do estudo.

Em um primeiro momento, foi considerado que o alimento retirado de consumo não contribui mais para a dose do grupo exposto, como pode, por exemplo, ocorrer no

caso de processamento dos alimentos. Desta forma, a simulação supõe o descarte do alimento ou sua distribuição, após processamento, fora da área afetada pelo acidente.

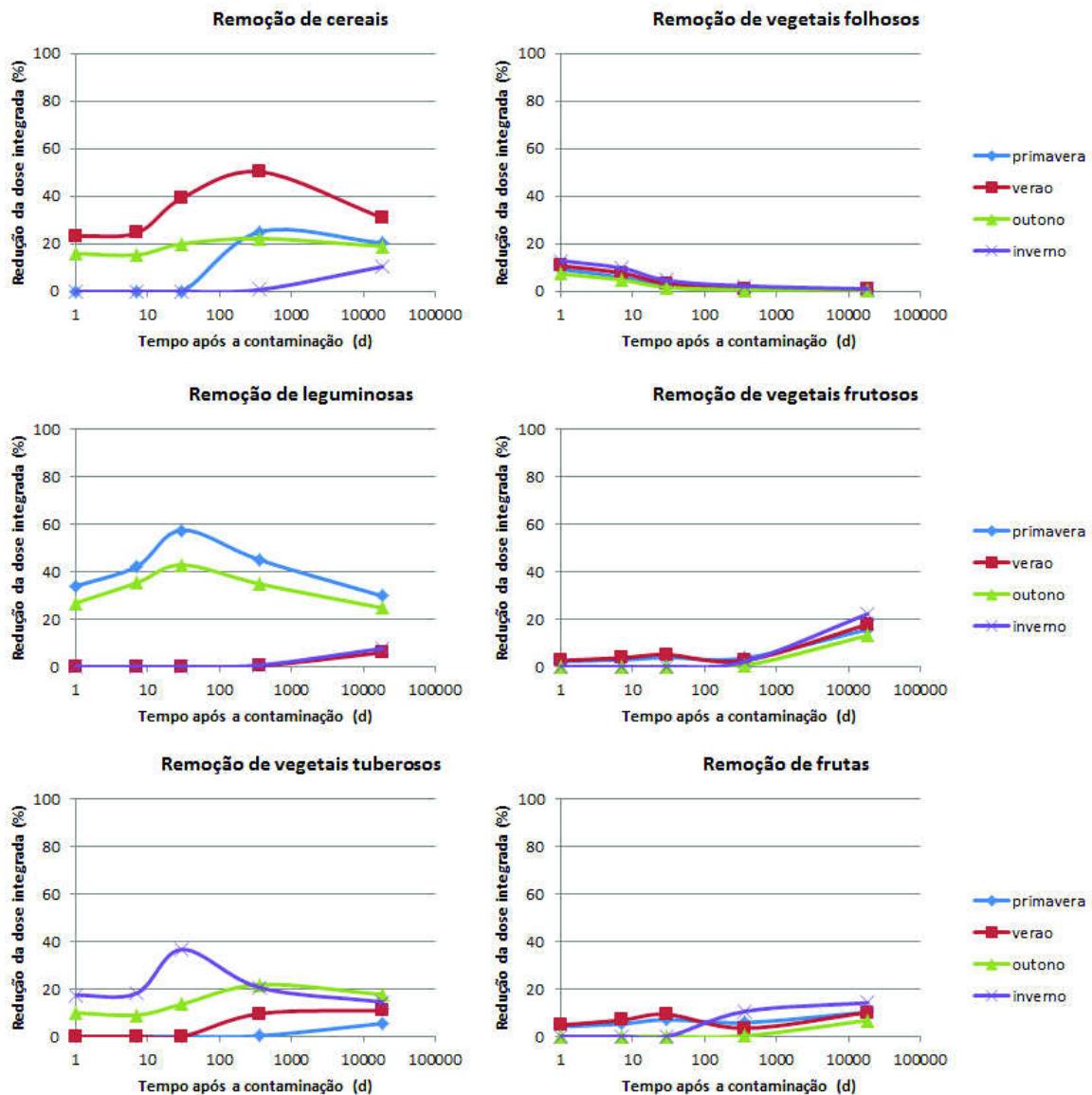
a)  $^{137}\text{Cs}$

A Figura 5.17 mostra os resultados de dose integrada por ingestão devido a uma contaminação de  $1 \text{ kBq/m}^2$  de  $^{137}\text{Cs}$  na área rural de referência. Pode ser observado que a dose integrada é bastante semelhante, pouco dependente da época do ano em que ocorre o acidente.



**Figura 5.17. Dose integrada de ingestão devido a uma contaminação de  $1 \text{ kBq}$  de  $^{137}\text{Cs}$  na área de referência, em diferentes períodos do ano.**

A Figura 5.18 mostra o efeito da aplicação de medidas de proteção e de remediação relativas à retirada de consumo de cada um dos produtos agrícolas, uma semana após a contaminação. Neste caso, a dose efetiva recebida é atribuída à ingestão de todos os outros itens da dieta (Tabela 4.1), os quais não foram removidos do consumo. Podem ser observados os efeitos da relevância do item para a dose de ingestão e um pronunciado efeito da sazonalidade, que vai depender dos períodos de plantio e de colheita dos diversos produtos, principalmente no primeiro ano após a contaminação, devido ao efeito da deposição foliar na dose de ingestão dos produtos. Este efeito pode ou não ser compensado a longo prazo, onde a dose de ingestão se deve principalmente à contaminação dos vegetais via absorção radicular, em consequência da deposição dos radionuclídeos no solo.



**Figura 5.18.** Redução observada na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção do consumo de cada item individual da dieta de referência, uma semana após a contaminação por  $^{137}\text{Cs}$ .

A dose residual resultante da aplicação de medidas de proteção e de remediação vai ser dependente da relevância relativa dos principais processos de contaminação dos vegetais, deposição foliar e incorporação pela raiz, que, por sua vez, dependem de um grande número de parâmetros, tais como o fator de transferência solo-planta, quantidade depositada disponível para distribuição na planta, que depende do índice de área foliar, mobilidade do radionuclídeo na planta e sua transferência para a parte comestível, descrita pelo fator de translocação, tempo de crescimento da planta e produtividade agrícola.

A sazonalidade afeta principalmente os parâmetros relacionados à área foliar disponível no momento da deposição e à translocação, que depende do tempo disponível para o material ser distribuído pela planta antes da sua colheita.

Após o primeiro ano, os principais fatores que afetam a dose devida a cada produção são o fator de transferência solo-planta e a relevância do alimento para a dieta. O efeito da contaminação na dose integrada varia de acordo com as características do alimento e com sua relevância para a dieta. Neste caso, foi considerado que a ingestão se deve integralmente a alimentos produzidos no local, mas este grau de subsistência vai variar muito de local para local, de acordo com a produção e com os hábitos dos habitantes.

A relevância dos produtos para a dose total varia com a época do ano em que ocorre o acidente, devido a diferentes momentos de plantio e de colheita dos diferentes alimentos e, portanto, do estágio de desenvolvimento dos produtos no momento da contaminação.

Outro aspecto importante a considerar é a dieta da área afetada e o grau de dependência das pessoas da produção local. Na seleção de medidas de proteção e de remediação, devem ser avaliados o custo e a viabilidade operacional da substituição de itens alimentares relevantes para a dose da população afetada.

A grande quantidade de fatores afetando as doses não permite uma simplificação com uma pré-definição de critérios para a aplicação de medidas de proteção e de remediação, uma vez que as doses e as reduções de dose serão muito dependentes do local afetado, do que é produzido e do que é consumido, bem como da época do ano em que ocorre o acidente. Desta forma, os critérios devem ser definidos de uma forma genérica, em função da dose evitada, e a avaliação do critério que será associado a uma determinada medida deve ser considerada apenas após o conhecimento real das características do acidente e das áreas afetadas.

Mesmo em relação a doses coletivas, devido à incorporação dos produtos cultivados na área afetada, os parâmetros com a produção agrícola total da área, a contaminação dos produtos no momento da colheita, os sistemas locais e regionais de distribuição de alimentos e a relevância do produto na dieta da população em geral deverão ser considerados de maneira específica, caso ocorra uma contaminação de uma área agrícola.

A redução na dose integrada, ao longo do tempo após a contaminação, devido à retirada de consumo de produtos de origem animal é apresentada nas Figuras 5.19, 5.20



e 5.21, para carne de boi, carne de frango e leite, respectivamente. Em se tratando de uma contaminação por  $^{137}\text{Cs}$ , a redução da dose efetiva comprometida por ingestão de produtos de origem animal é bastante variada.

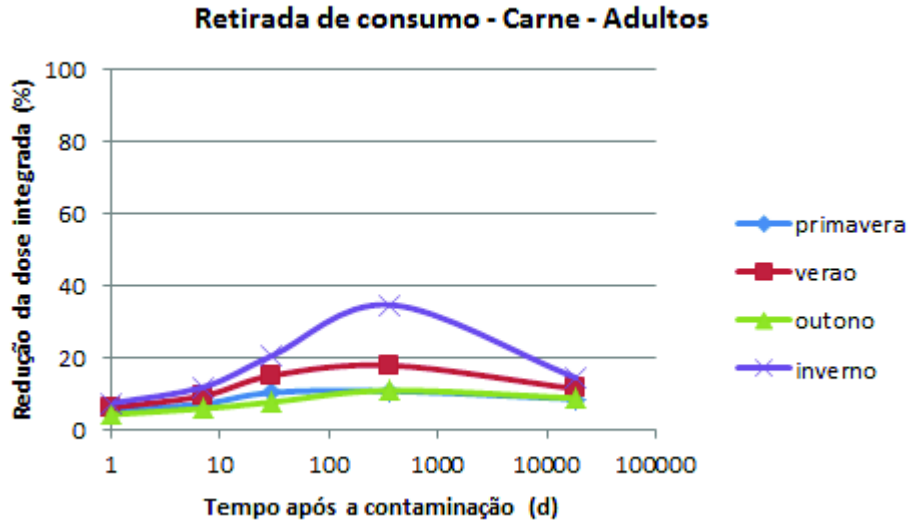


Figura 5.19. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção do consumo de carne de boi, uma semana após uma contaminação por  $^{137}\text{Cs}$ .

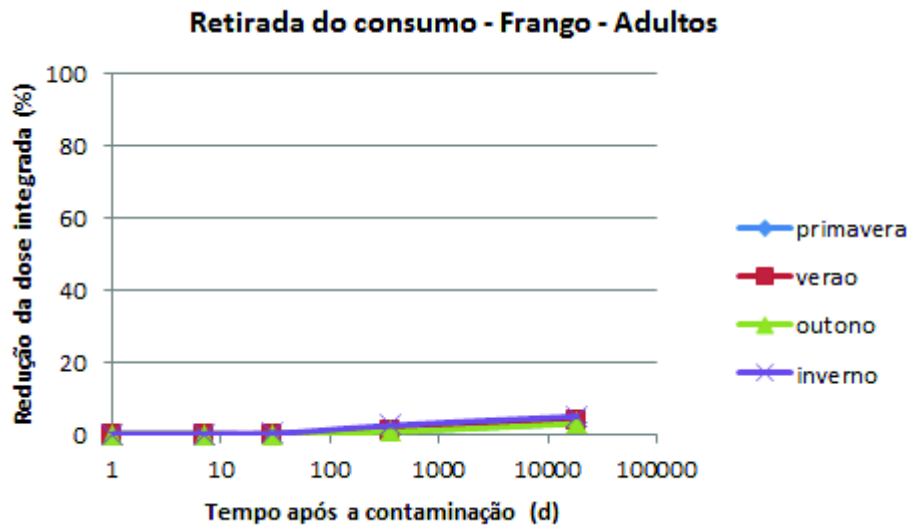
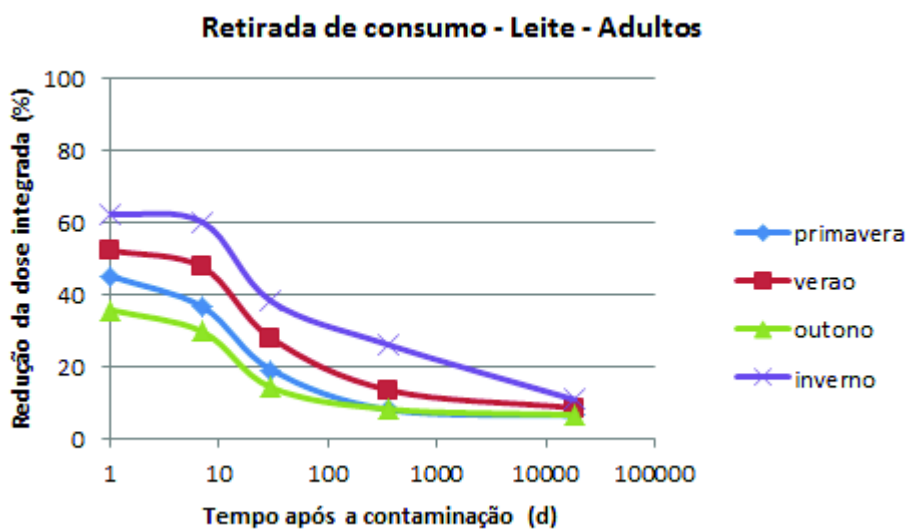


Figura 5.20. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção do consumo de carne de frango, uma semana após uma contaminação por  $^{137}\text{Cs}$ .

A retirada do consumo de frangos apresentou uma redução muito baixa, quase nula, inclusive a longo prazo, indicando que esta medida não deve ser relevante no caso de uma dieta completamente proveniente da área contaminada. A baixa concentração de

$^{137}\text{Cs}$  no frango reflete principalmente o fato de ele ser alimentado por milho, que não é muito afetado pela deposição foliar a curto prazo, pois por ser um grão, depende de translocação para ser contaminado. Além disso, o frango é pouco consumido pelo público (aproximadamente metade do consumo de carne).

A retirada da carne bovina, por sua vez, apresenta diferenças na sazonalidade; no entanto, ela só é expressiva se o acidente ocorrer no inverno, pois a redução chega a quase 40% a médio prazo (até o primeiro ano). Nas outras estações e a longo prazo, a redução é menor que 20%. Diferentemente do frango, a carne bovina sofre influência direta da deposição foliar, já que o gado come pasto fresco o ano inteiro.



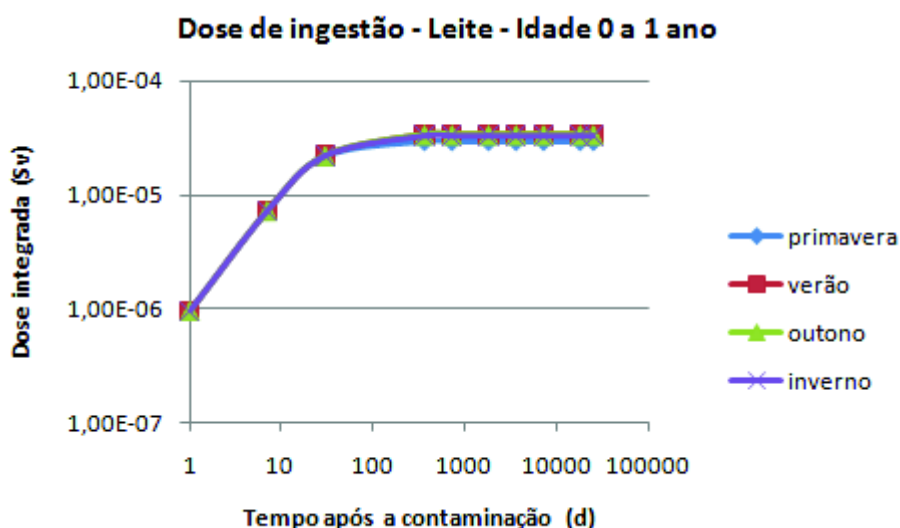
**Figura 5.21** Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de leite uma semana após uma contaminação por  $^{137}\text{Cs}$ .

Por último, a retirada do leite foi a medida que apresentou maior redução percentual da dose, apesar de um efeito significativo da sazonalidade (por exemplo, se o acidente ocorrer no outono, a medida não será tão eficiente). Contudo, esta redução eficaz só ocorre a curto prazo, atingindo aproximadamente 10% a longo prazo, para todas as estações.

A alta redução da dose integrada a curto prazo pode ser explicada pela rápida absorção e mobilidade do radionuclídeo pelo gado leiteiro a partir da ingestão de pasto contaminado por deposição. A longo prazo, a baixa redução é consequência de um conjunto de fatores que inclui não apenas a própria relevância do leite na dieta, mas

também diferenças entre fatores de transferência no sistema solo-planta relativos aos itens incluídos na dieta.

Conforme discutido anteriormente, o leite consumido por crianças, em particular por crianças com idade inferior a um ano, é o principal alimento contribuinte para a dose por ingestão. No caso do  $^{137}\text{Cs}$ , esta dose não varia muito com a estação do ano em que ocorre o acidente (Figura 5.22). Pode-se verificar também que a dose integrada é praticamente toda recebida nos primeiros meses após a contaminação. Este resultado é bastante diferente daquele obtido para países de clima temperado, uma vez que aqui foi considerado que o gado pasta o ano inteiro ao ar livre, enquanto que em países frios, durante parte do ano, o animal é alimentado por material estocado, produzido durante os meses mais quentes, em que não há neve (MÜLLER & PRÖHL, 1993).

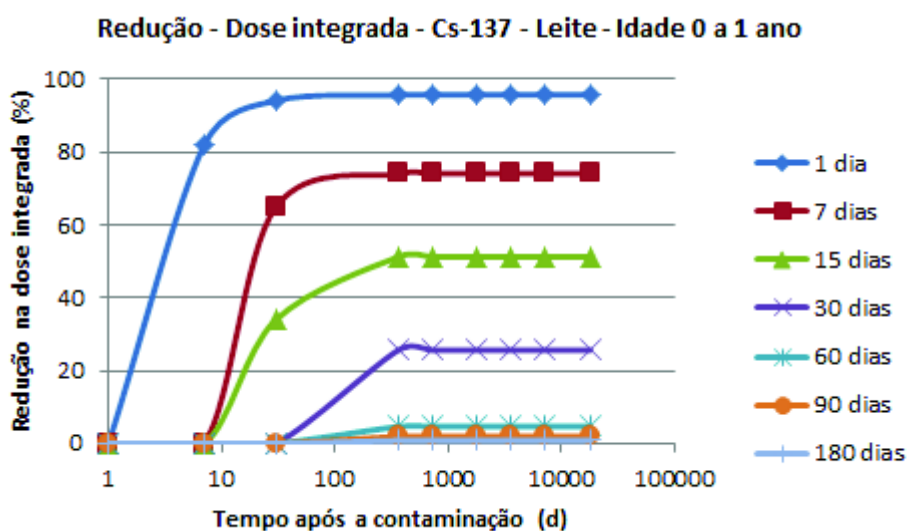


**Figura 5.22. Dose por ingestão de leite em crianças com idade inferior a 1 ano no momento do acidente, devido a uma contaminação acidental de 1 kBq/m<sup>2</sup> de  $^{137}\text{Cs}$ , ocorrendo em diferentes estações do ano.**

A Figura 5.23 mostra o resultado da simulação da retirada de consumo de leite contaminado em vários momentos após o acidente, considerando que este tenha ocorrido durante a primavera. Optou-se por tal estação, uma vez que seus dados apresentam valores intermediários, sendo considerado, portanto, um exemplo representativo das outras épocas do ano.

Pode ser observado que, mesmo no caso de um radionuclídeo de meia-vida longa, o controle do leite contaminado deve ser efetuado dentro de um período de cerca

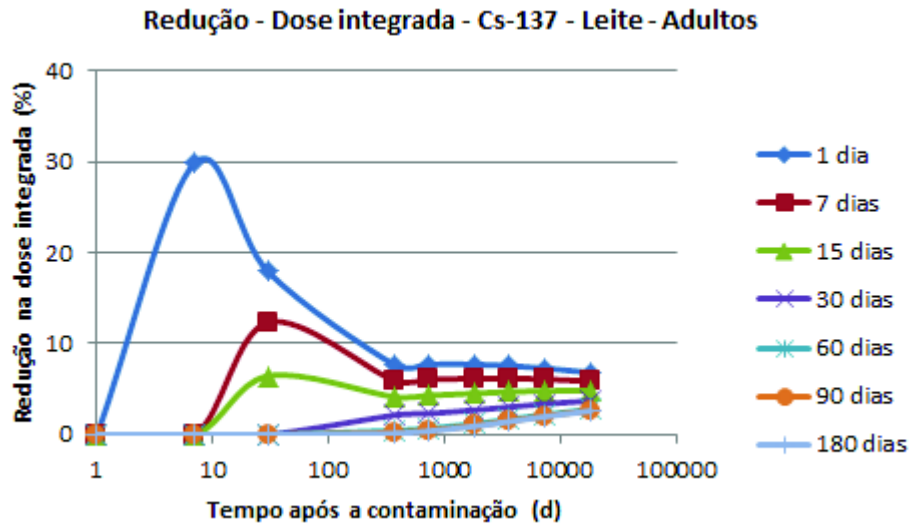
de 15-20 dias após o acidente para ser eficiente, isto é, para se obter uma alta redução na dose (acima de 30%). Isto se deve à relevância da deposição foliar nas doses de curto prazo e da curta meia-vida efetiva do radionuclídeo no pasto. A longo prazo, a dose residual se deve à contaminação do solo e à sua transferência para o animal.



**Figura 5.23. Redução percentual na dose integrada de ingestão de leite em crianças com menos de 1 ano de idade no momento do acidente, devido a uma contaminação acidental de 1 kBq/m<sup>2</sup> de <sup>137</sup>Cs, para diversos momentos de aplicação da medida, para o caso de um acidente ocorrendo na primavera.**

As Figuras 5.22 e 5.23 também permitem observar que a medida é eficaz até um período de cerca de 1 mês após o acidente. A partir de aproximadamente 2 meses após o acidente, a dose residual já não é mais tão significativa, sendo a taxa de dose cerca de 3 ordens de grandeza inferior àquela observada logo após a contaminação. Portanto, a medida só seria indicada em caso de contaminação de solo muito elevada, onde mesmo um percentual de redução pequeno levaria a uma redução significativa na dose absoluta recebida.

O resultado para adultos é apresentado na Figura 5.24, também para um acidente na primavera.



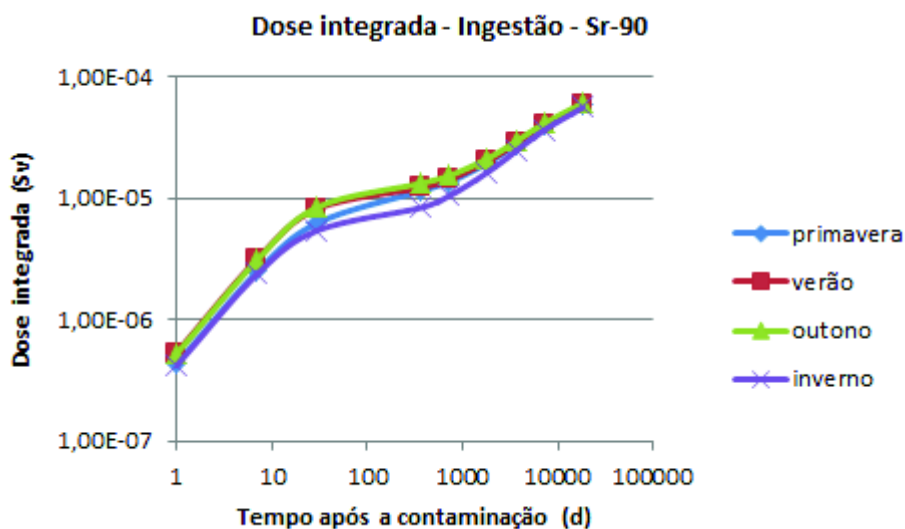
**Figura 5.24. Redução percentual na dose integrada de ingestão de leite em adultos no momento do acidente, devido a uma contaminação acidental de 1 kBq/m<sup>2</sup> de <sup>137</sup>Cs, para diversos momentos de aplicação da medida, para o caso de um acidente ocorrendo na primavera.**

Tendo em vista a pouca contribuição que a dose efetiva comprometida de ingestão de leite por <sup>137</sup>Cs fornece em relação à dose total, já que indivíduos adultos também se alimentam de vegetais, de carne bovina e de frango, não são observadas reduções significativas na dose integrada devido à retirada do leite. O valor máximo obtido é 30% após uma semana, considerando a aplicação da medida um dia após o acidente. Se esta medida for implantada após uma semana, a eficiência cai para a faixa de 10 a 15%.

*b) <sup>90</sup>Sr*

Os resultados de dose integrada total de ingestão para adultos, em função da estação do ano em que ocorre o acidente, para o <sup>90</sup>Sr, podem ser vistos na Figura 5.25. Dentre os três radionuclídeos estudados, o <sup>90</sup>Sr é aquele que, aparentemente, apresenta menor diferença na dose integrada devido à sazonalidade. Isso ocorre porque o leite é o alimento mais relevante para a dose integrada por ingestão devido ao <sup>90</sup>Sr. A contribuição deste alimento para a dose é constante ao longo do ano, uma vez que no Brasil, considera-se que os animais são alimentados por pasto fresco durante todo o ano (VINHAS *et al.*, 2005). É interessante notar que a medida de alteração da alimentação do gado, que foi importante após o acidente de Chernobyl, seria muito difícil de aplicar

no Brasil, devido às diferenças de práticas agropecuárias decorrentes das diferenças de clima entre esses países afetados pelo acidente e o Brasil.

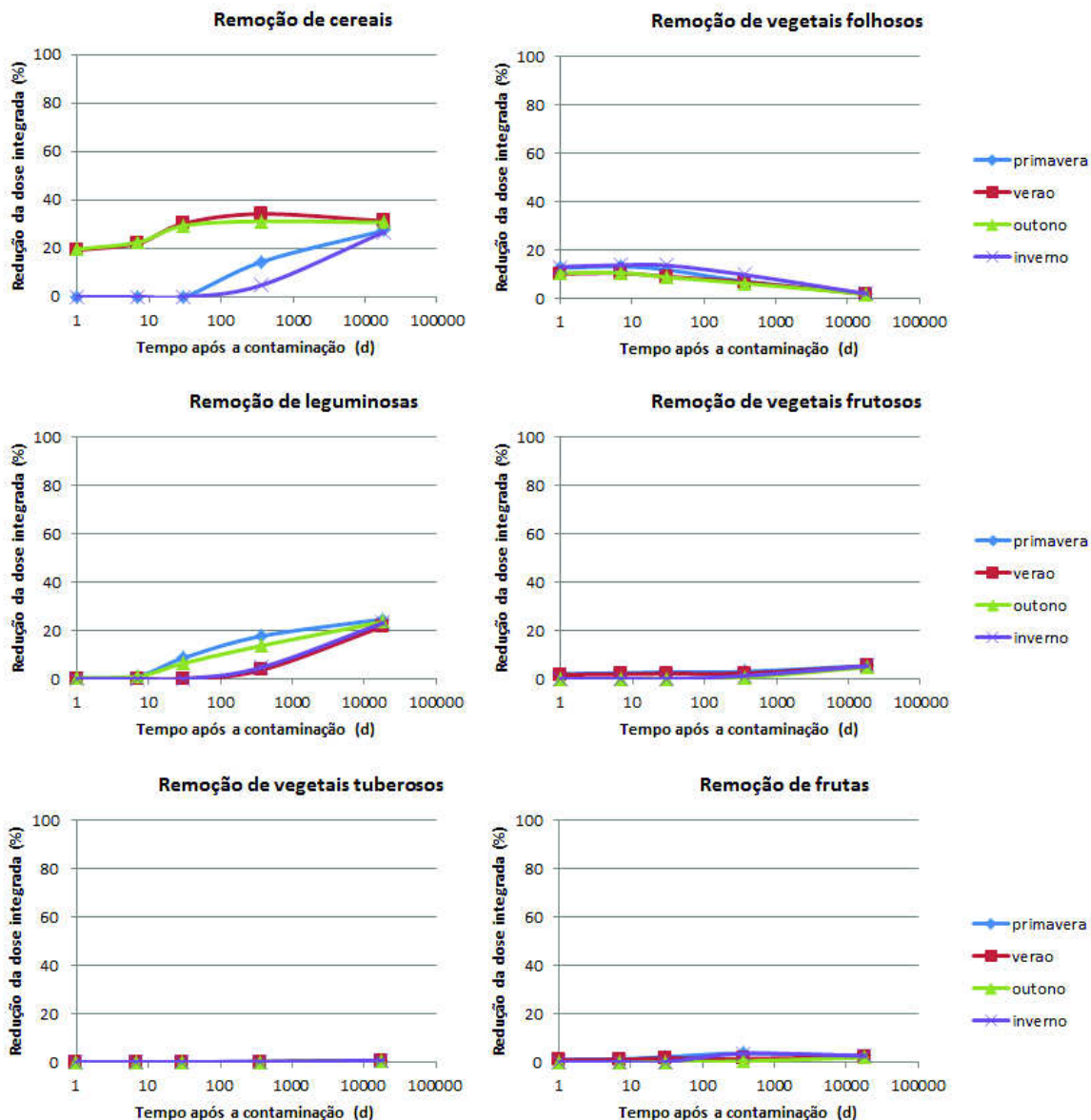


**Figura 5.25. Dose integrada de ingestão devido a uma contaminação de 1 kBq/m<sup>2</sup> de <sup>90</sup>Sr na área de referência, em diferentes períodos do ano.**

Conforme observado anteriormente, a dose total devido à ingestão não é muito dependente da estação do ano em que ocorre o acidente, embora, exista uma grande variação na contribuição relativa de cada tipo de alimento para a dose total (Figura 5.16). Foi possível também observar que a retirada do leite da alimentação de adultos seria a medida mais eficiente na redução de doses, a qualquer tempo após a contaminação, para acidentes ocorrendo em qualquer período do ano. Em relação aos alimentos de origem vegetal, os cereais e as leguminosas são os únicos vegetais em que uma medida de proteção e de remediação poderia ser eficiente na dose integrada de vida inteira.

Em curto prazo, o controle do consumo de vegetais folhosos também levaria a uma redução na dose de ingestão significativa em relação aos demais vegetais, em particular para acidentes ocorrendo na primavera e no inverno (Figura 5.16). Esta medida seria eficiente apenas nos 2-3 primeiros meses após a contaminação.

A Figura 5.26 mostra o efeito da aplicação de medidas de proteção e de remediação relativas à retirada de consumo de cada um dos produtos agrícolas, uma semana após a contaminação.



**Figura 5.26.** Redução observada na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de cada item individual da dieta de referência, uma semana após a contaminação por  $^{90}\text{Sr}$ .

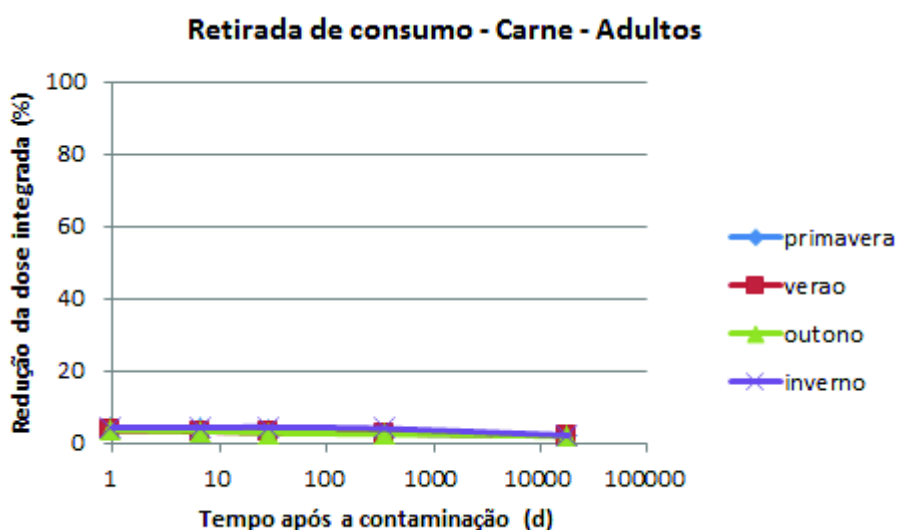
Observa-se que os efeitos da redução da dose integrada por ingestão, devido à retirada do consumo de cada item são muito baixos (exceto para a remoção de cereais e de leguminosas). Isso significa que, no caso de um acidente nuclear e/ou radiológico que origine uma contaminação por  $^{90}\text{Sr}$  numa área rural onde há plantio desses vegetais, a retirada do consumo de vegetais folhosos, de vegetais frutuosos, de vegetais tuberosos e de frutas se constituirá, a princípio, numa medida que não deve ser aplicada, uma vez que ela será ineficiente, não importando em que época do ano o acidente tenha ocorrido. Nestes vegetais, a medida não é eficiente porque certamente o  $^{90}\text{Sr}$  não apresenta

afinidade suficiente pelas partes comestíveis de tal modo que o permita se concentrar tanto nas folhas, por deposição, quanto nas raízes ou nos frutos, por absorção radicular.

A partir dessas informações, é possível depreender que, uma vez que a retirada do consumo é considerada a medida mais eficiente na redução das doses por ingestão (não havendo outra medida que tenha um efeito maior de redução de dose), em situações de emergência, nenhuma ação deve ser tomada com relação aos seguintes alimentos: vegetais folhosos, vegetais frutuosos, vegetais tuberosos e frutas.

O efeito da sazonalidade, por sua vez, é percebido apenas na remoção de cereais e de leguminosas, principalmente no primeiro ano após a contaminação. Para estes alimentos, no entanto, a longo prazo (após 50 anos), o efeito da sazonalidade deixa de existir.

A redução na dose integrada, ao longo do tempo após a contaminação, devido à retirada de consumo de produtos de origem animal é apresentada nas Figuras 5.27, 5.28 e 5.29, para carne de boi, carne de frango e leite, respectivamente.



**Figura 5.27. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de carne de boi, uma semana após uma contaminação por <sup>90</sup>Sr.**

Da mesma forma que a maioria dos produtos agrícolas, a redução da dose devido à remoção de carne de boi e de frango apresenta valores muito baixos a curto e a longo prazos, com ausência do efeito da sazonalidade. Este fato é justificado pelas baixas concentrações encontradas nos produtos agrícolas. Uma vez que alguns deles são consumidos pelo gado bovino e pelos frangos, a concentração de qualquer



radionuclídeo (incluindo o  $^{90}\text{Sr}$ ) tende a ser menor devido à taxa de ingestão desses animais.

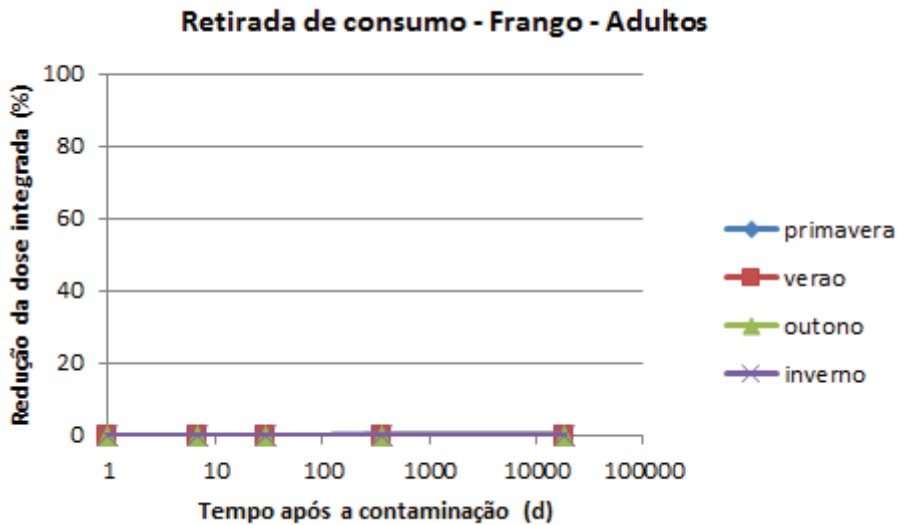


Figura 5.28. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de carne de frango, uma semana após uma contaminação por  $^{90}\text{Sr}$ .

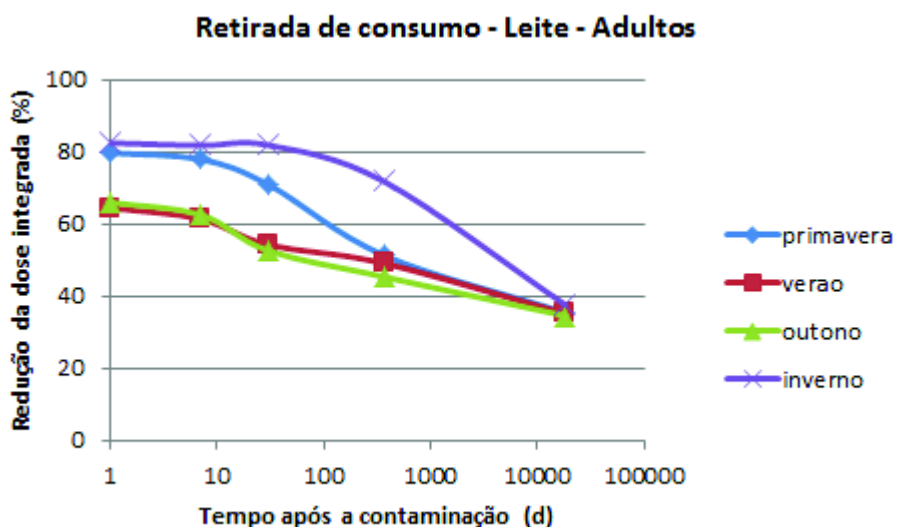


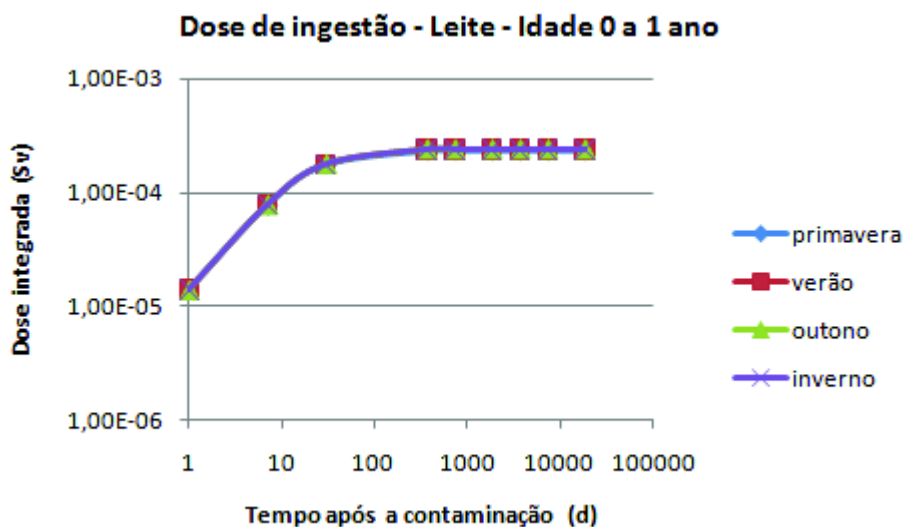
Figura 5.29. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de leite, uma semana após uma contaminação por  $^{90}\text{Sr}$ .

A única exceção para os valores de dose ocorre na remoção de leite, cuja redução é bastante eficaz a curto e a médio prazos, podendo, portanto ser considerada uma medida altamente indicada. Embora a redução da dose pela retirada da carne de boi tenha sido muito baixa, indicando que o  $^{90}\text{Sr}$  não se concentra na carne desses animais, a

redução pela retirada do leite pode ser justificada pela grande afinidade do  $^{90}\text{Sr}$  por este alimento. Como ambos pertencem à mesma família de metais alcalinos terrosos, o estrôncio apresenta uma similaridade química com o cálcio, que é um dos componentes presentes em maior quantidade no leite (COUGHTREY & THORNE, 1983).

O efeito da sazonalidade na remoção do leite só pode ser observado a curto e a médio prazos, sendo que, se o acidente ocorrer no inverno, a eficácia será a maior alcançada, em razão da elevada contribuição percentual da dose efetiva por ingestão deste alimento em relação aos outros durante a referida estação do ano (Figura 5.16).

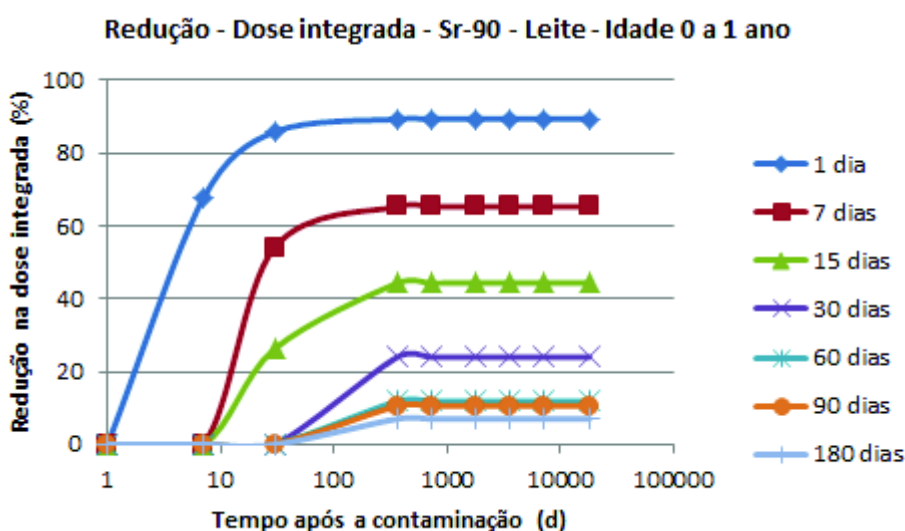
Em relação ao leite consumido por crianças, a Figura 5.30 apresenta as doses efetivas comprometidas por ingestão de  $^{90}\text{Sr}$ , em função das quatro diferentes épocas do ano em que o acidente pode ocorrer. Da mesma forma que foi observada com o  $^{137}\text{Cs}$ , a dose por ingestão de  $^{90}\text{Sr}$  não apresenta variações de sazonalidade; além disso, toda a dose efetiva é recebida pela criança durante aproximadamente os três primeiros meses após o acidente, chegando a um valor limite durante o primeiro ano.



**Figura 5.30. Dose por ingestão de leite em crianças com idade inferior a 1 ano no momento do acidente, devido a uma contaminação acidental de  $1 \text{ kBq/m}^2$  de  $^{90}\text{Sr}$ , ocorrendo em diferentes estações do ano.**

A Figura 5.31 apresenta os resultados de redução de dose em função do momento de aplicação da medida de retirada de consumo, para um acidente ocorrendo na primavera, para crianças com idade inferior a 1 ano no momento do acidente. O exemplo refere-se a um acidente ocorrendo na primavera, mas o comportamento é semelhante para as outras estações do ano (Figura 5.30). Pode ser observado que para

obter uma redução de 50% na dose, a medida deve ser implantada até cerca de 15 dias após o acidente. Se esta medida for aplicada 1 mês após o acidente, a redução máxima obtida será de aproximadamente 25%, tão baixa que não justificaria a existência de outros aspectos envolvidos com a aplicação, tais como: custos, precaução de segurança, doses adicionais e geração de rejeitos.



**Figura 5.31. Redução percentual na dose integrada de ingestão de leite em crianças com idade inferior a 1 ano no momento do acidente, devido a uma contaminação acidental de 1 kBq/m<sup>2</sup> de <sup>90</sup>Sr, para diversos momentos de aplicação da medida, para o caso de um acidente ocorrendo na primavera.**

O resultado para adultos é apresentado na Figura 5.32, também para um acidente na primavera. Podemos observar que a redução máxima obtida a longo prazo corresponde à contribuição do leite para a dose total de ingestão (Figura 5.16), que é da ordem de 30% para acidentes ocorrendo em qualquer das estações do ano. No entanto, as reduções das doses de curto e médio prazo, relacionadas às maiores taxas de dose, vão depender bastante do momento de aplicação da medida.

Este resultado indica que a adoção de medidas de proteção e de remediação em relação à ingestão são extremamente dependentes do cenário real, que inclui a dieta do grupo populacional em avaliação, a contribuição para a dieta de alimentos produzidos no local, o que exige considerações adicionais da viabilidade de substituição de itens alimentares por alimentos não contaminados e do valor efetivo das doses a serem evitadas. O período de aplicação das medidas também deve ser objeto de otimização, considerando os mesmos parâmetros.

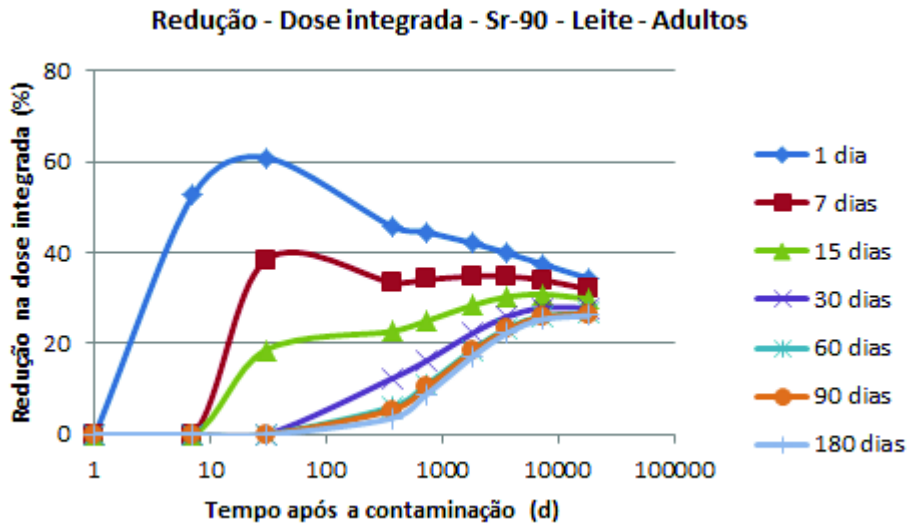


Figura 5.32. Redução percentual na dose integrada de ingestão de leite em adultos no momento do acidente, devido a uma contaminação acidental de  $1 \text{ kBq/m}^2$  de  $^{90}\text{Sr}$ , para diversos momentos de aplicação da medida, para o caso de um acidente ocorrendo na primavera.

c)  $^{131}\text{I}$

Os resultados de dose integrada total de ingestão para adultos, em função da estação do ano em que ocorre o acidente, para o  $^{131}\text{I}$ , podem ser vistos na Figura 5.33.

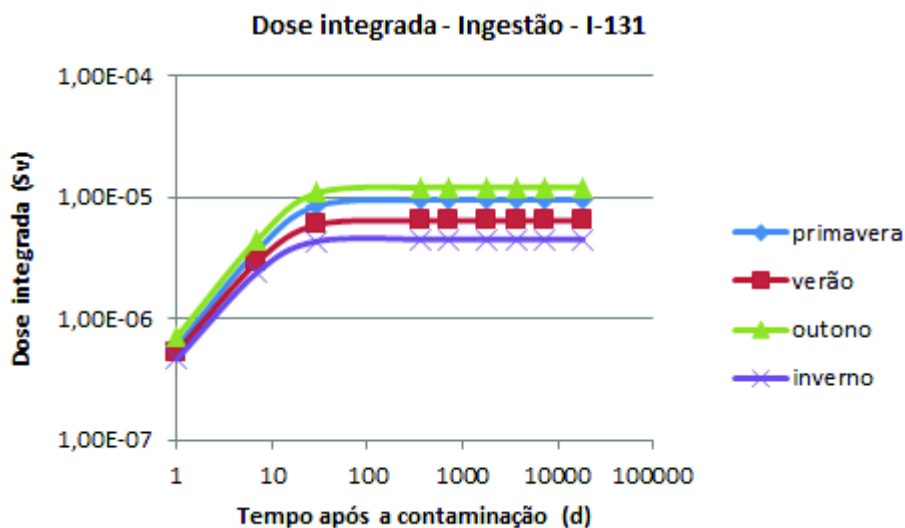


Figura 5.33. Dose integrada de ingestão devido a uma contaminação de  $1 \text{ kBq/m}^2$  de  $^{131}\text{I}$  na área de referência, em diferentes períodos do ano.

Semelhantemente ao que ocorre com o  $^{137}\text{Cs}$  e o  $^{90}\text{Sr}$ , os valores da dose integrada para cada estação não variam de forma significativa. Devido à meia-vida curta do iodo, toda a dose é recebida em um período de cerca de 3 meses após a contaminação (Figura 5.13). Desta forma, qualquer medida de proteção e de remediação para diminuir a dose deve ser implantada muito cedo para ser eficaz.

A Figura 5.34 mostra o efeito da aplicação de medidas de proteção e de remediação relativas à retirada de consumo de cada um dos produtos agrícolas, uma semana após a contaminação.

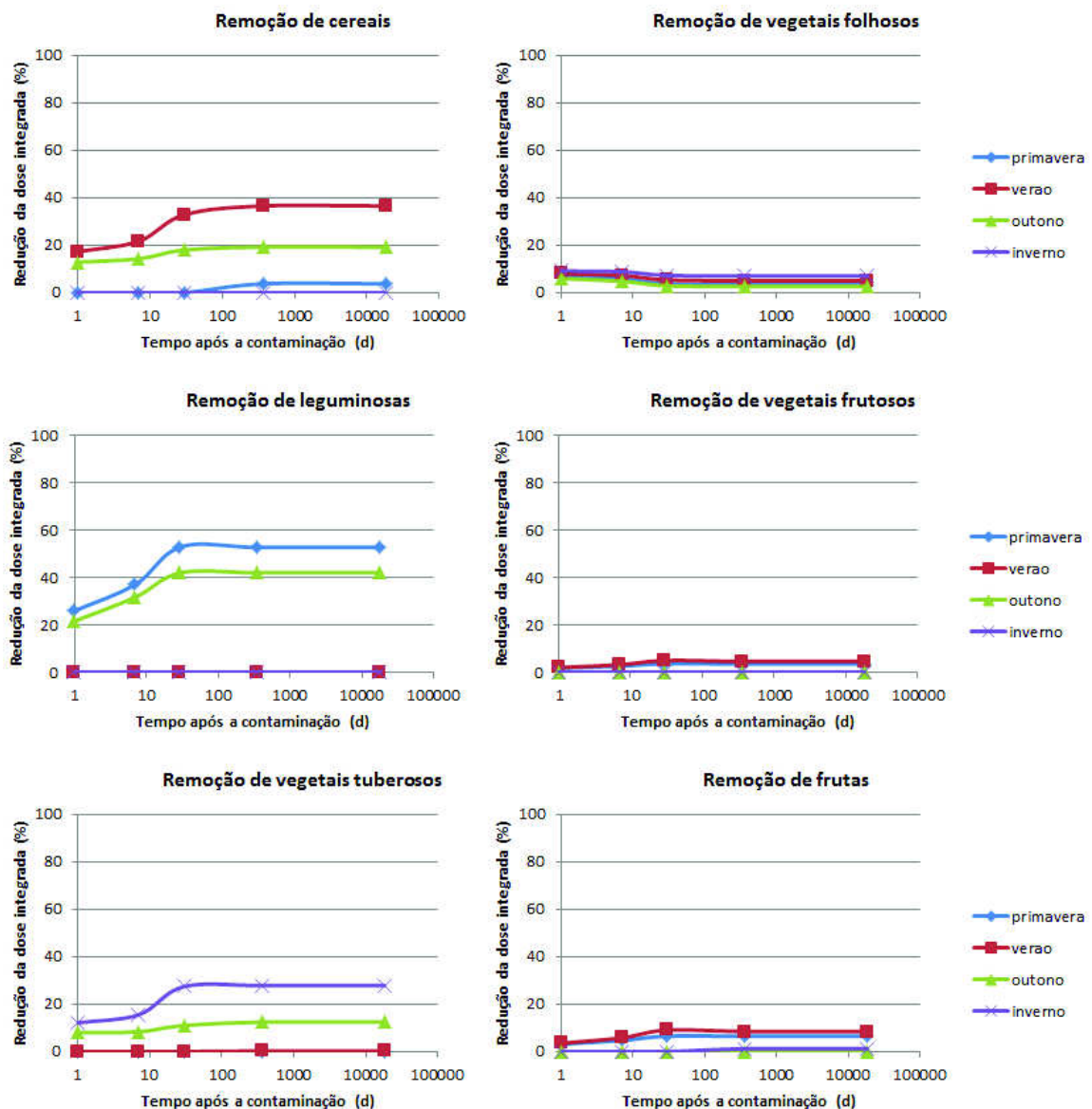


Figura 5.34. Redução observada na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de cada item individual da dieta de referência, uma semana após a contaminação por  $^{131}\text{I}$ .

Como se pode ver, cada item alimentício apresenta relevâncias distintas para a dose de ingestão, não só por  $^{131}\text{I}$ , como também por  $^{137}\text{Cs}$  (Figura 5.18) e  $^{90}\text{Sr}$  (Figura 5.26).

O efeito da sazonalidade pode ser observado apenas nos alimentos cuja redução da dose integrada foi significativa (cereais, leguminosas e vegetais tuberosos). Diferentemente do que ocorre para  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{90}\text{Sr}$ , o efeito da sazonalidade se mantém desde o início da contaminação. Pode-se afirmar, portanto, que a retirada do consumo de cereais, de leguminosas e de vegetais tuberosos se constituirá numa medida eficiente (dependendo da época do ano, como se pode observar na Figura 5.34) para a redução da dose por ingestão de  $^{131}\text{I}$  em casos de acidentes nucleares e/ou radiológicos que levem à contaminação desses alimentos.

Uma vez que a eficiência da redução da dose integrada pela retirada de vegetais folhosos, frutuosos e de frutas foi baixa (aproximadamente 10%), a implantação desta medida não é indicada para casos de emergência.

A redução na dose integrada, ao longo do tempo após a contaminação, devido à retirada de consumo de produtos de origem animal (considerando quatro épocas do ano distintas e representativas para uma ocorrência de um acidente) é apresentada nas Figuras 5.35, 5.36 e 5.37, para carne de boi, carne de frango e leite, respectivamente.

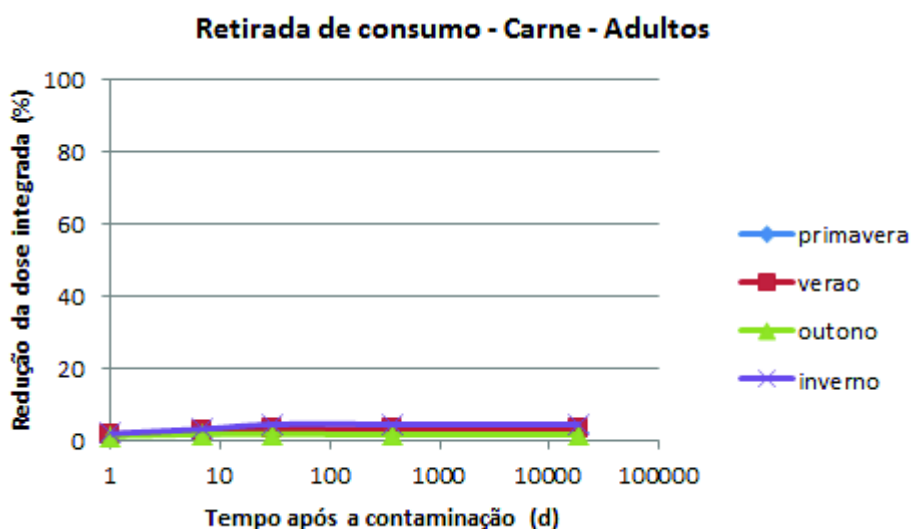


Figura 5.35. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de carne de boi, uma semana após uma contaminação por  $^{131}\text{I}$ .

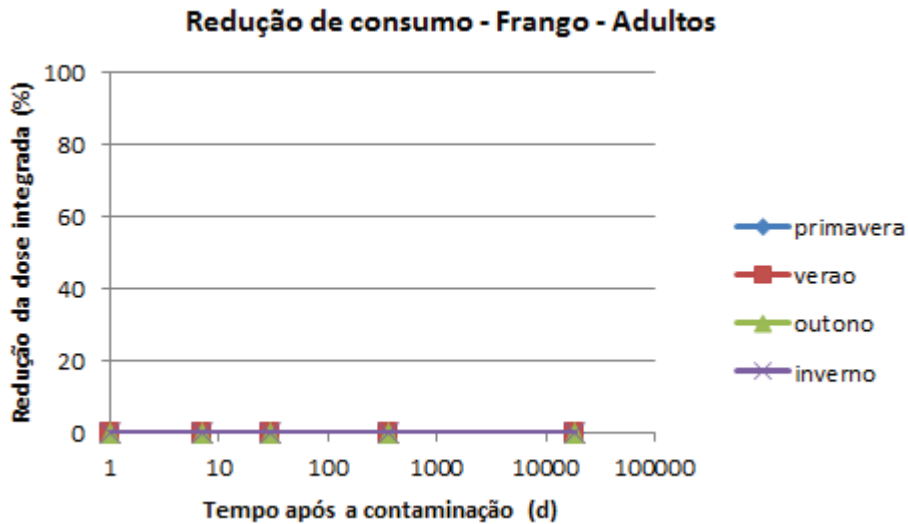


Figura 5.36. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de frango, uma semana após uma contaminação por  $^{131}\text{I}$ .

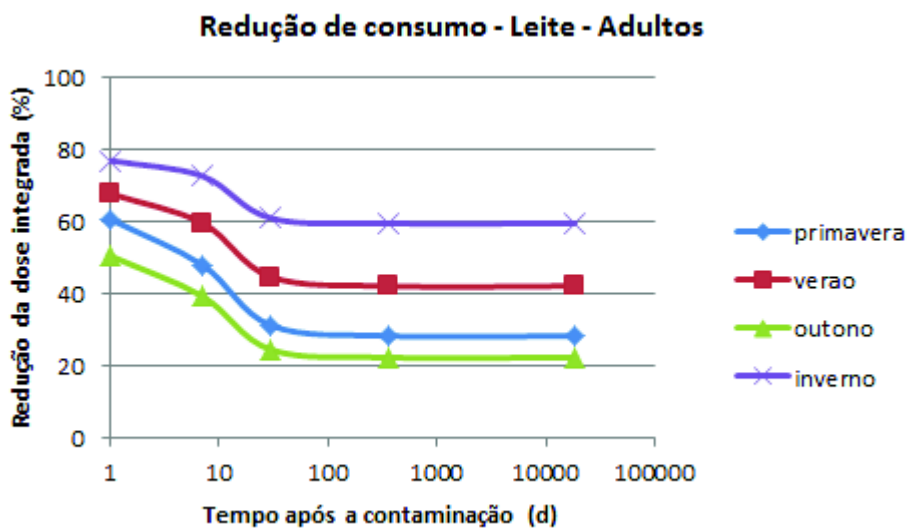
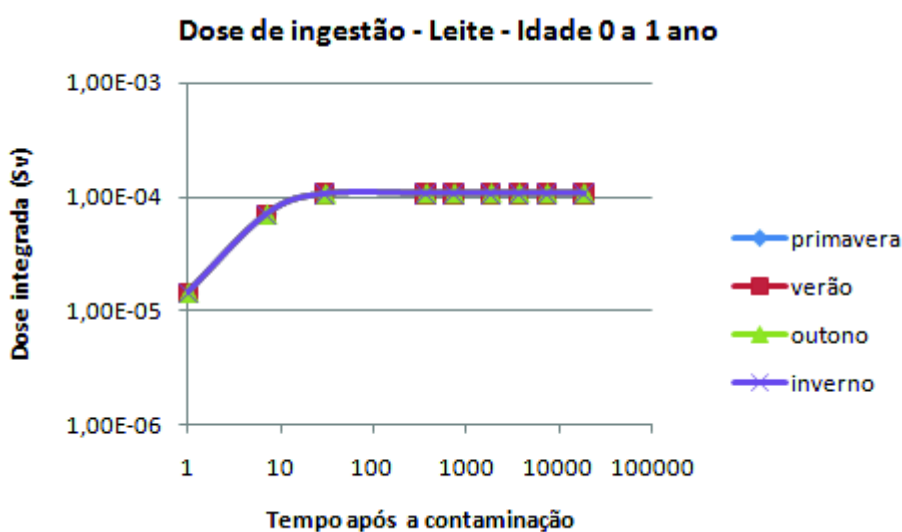


Figura 5.37. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de leite, uma semana após uma contaminação por  $^{131}\text{I}$ .

Conforme foi observado para o  $^{90}\text{Sr}$ , a retirada de consumo da carne e do frango não apresenta reduções significantes para a dose por ingestão desses alimentos, caso eles estejam contaminados por  $^{131}\text{I}$ . O efeito da sazonalidade, por outro lado, só pode ser percebido na redução das doses por remoção do leite. Esta pode se tornar uma medida bastante eficiente durante todo o tempo de vida dos indivíduos do público (caso o acidente ocorra durante o inverno ou o verão), uma vez que a redução das doses

diminui, mantendo-se constante até 50 anos após a contaminação (Figura 5.37). Se ocorrer durante a primavera ou o outono, a redução da dose a longo prazo atinge um valor máximo de 30%, cuja implantação ainda pode ser justificada, apesar da diminuição de sua eficácia.

No que diz respeito ao leite consumido por crianças, a Figura 5.38 apresenta as doses efetivas comprometidas por ingestão de  $^{131}\text{I}$ , em função das quatro diferentes épocas do ano em que o acidente pode ocorrer.

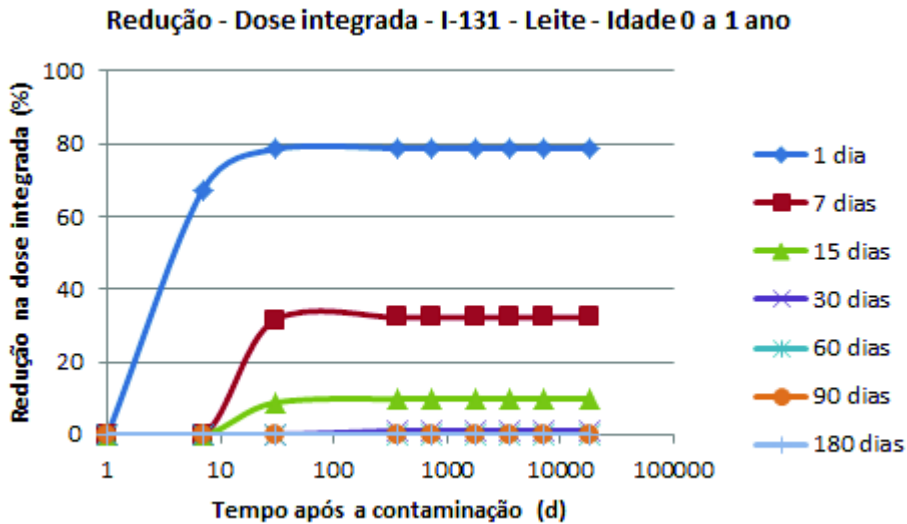


**Figura 5.38. Dose por ingestão de leite em crianças com idade inferior a 1 ano no momento do acidente, devido a uma contaminação acidental de 1 kBq/m<sup>2</sup> de  $^{131}\text{I}$ , ocorrendo em diferentes estações do ano.**

Não há efeitos da sazonalidade na dose por ingestão para crianças de até 1 ano, o que pode ser explicado por este trabalho considerar que o leite é o único alimento consumido por esta faixa etária. Sendo assim, não existem variações da dose por ingestão do leite ao longo do ano, já que a taxa de consumo é sempre a mesma. Também se observa nesta figura que os três primeiros meses após o acidente são os mais relevantes para a dose efetiva comprometida, indicando que todas as ações necessárias para proteger ao máximo os indivíduos do público devem ser tomadas antes desse prazo.

A Figura 5.39 apresenta os resultados de redução de dose em função do momento de aplicação da medida de retirada de consumo, para crianças com idade inferior a 1 ano no momento do acidente, considerando que ele tenha ocorrido na primavera.

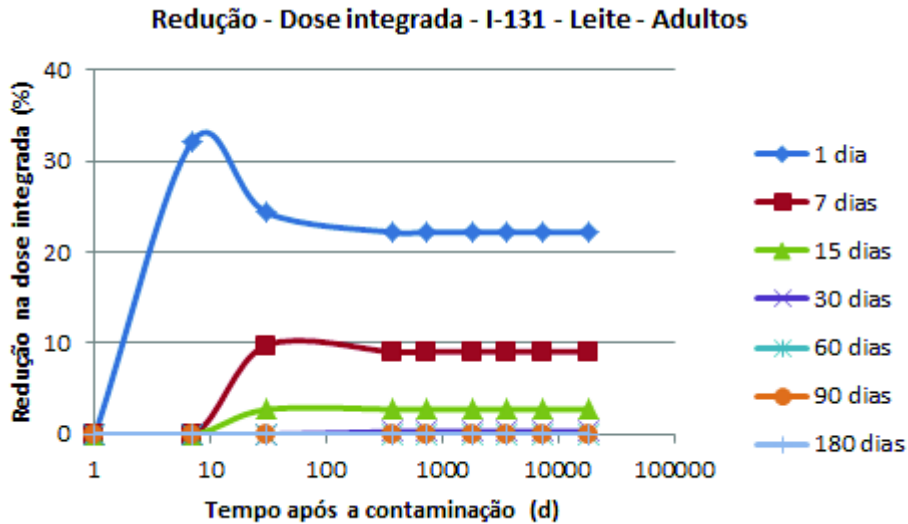




**Figura 5.39. Redução percentual na dose integrada de ingestão de leite em crianças com idade inferior a 1 ano no momento do acidente, devido a uma contaminação acidental de 1 kBq/m<sup>2</sup> de <sup>131</sup>I, para diversos momentos de aplicação da medida, para o caso de um acidente ocorrendo na primavera.**

Para que esta medida seja considerada eficiente, é necessário que ela seja aplicada antes de o acidente completar uma semana, pois a redução de um dia corresponde a 80%, enquanto que a de uma semana atinge, no máximo, 35%. Isso ocorre devido à meia-vida curta do <sup>131</sup>I (8,04 dias), sugerindo que todas as ações de remediação devem ser tomadas a curto prazo, já que, em um mês, a redução passa a ser nula.

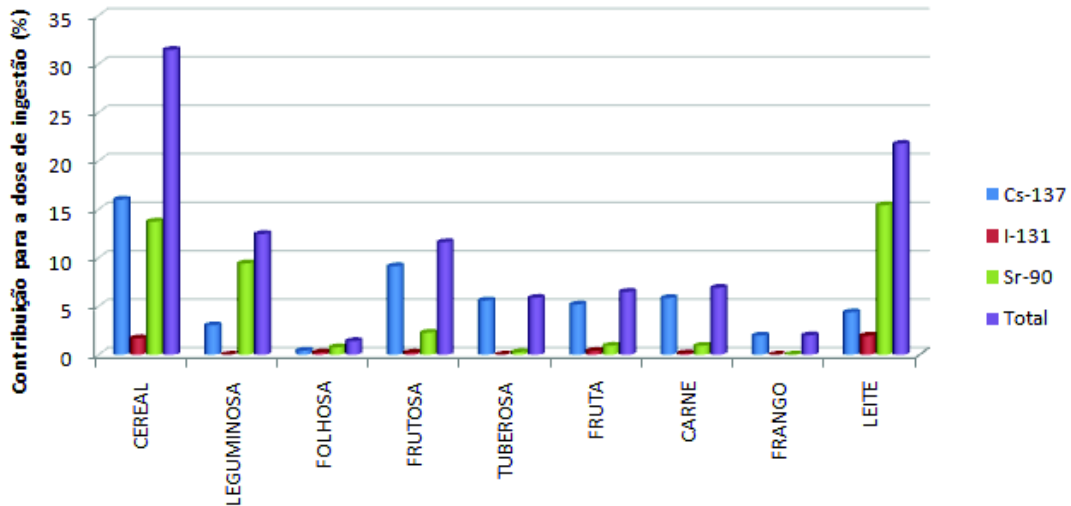
O resultado para adultos é apresentado na Figura 5.40, também para um acidente na primavera. Os resultados são parecidos com o que foi observado para <sup>137</sup>Cs, em que não há reduções muito expressivas da dose integrada devido à retirada de leite, uma vez que ele apresenta uma baixa contribuição na dose efetiva comprometida por ingestão total de alimentos contaminados por <sup>131</sup>I, a não ser pelo primeiro mês. Neste caso, a redução é a maior atingida (35%, caso a medida seja aplicada um dia após o acidente) devido à rápida absorção deste radionuclídeo pelas vacas em consequência da recente deposição foliar no pasto. Embora tenha uma grande afinidade pelo leite, fazendo-o concentrar neste alimento, o <sup>131</sup>I não oferece uma redução eficiente a longo prazo em razão de sua meia-vida curta.



**Figura 5.40. Redução percentual na dose integrada de ingestão de leite em adultos no momento do acidente, devido a uma contaminação acidental de  $1 \text{ kBq/m}^2$  de  $^{131}\text{I}$ , para diversos momentos de aplicação da medida, para o caso de um acidente ocorrendo na primavera.**

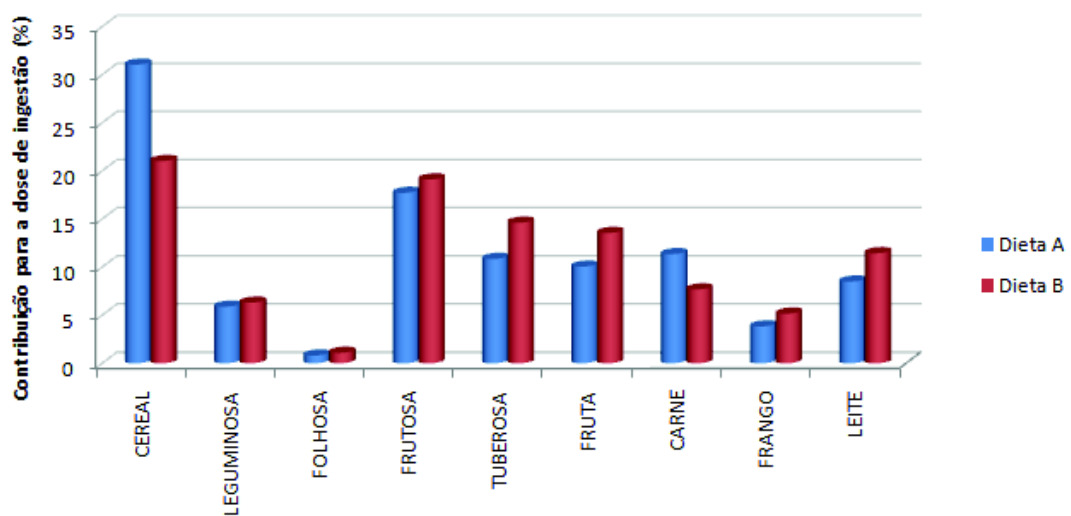
### ***5.3.3. Outros fatores relevantes para a dose recebida pelo público***

Outra questão que pode complicar mais ainda a análise diz respeito ao termo-fonte do acidente. A Figura 5.41 apresenta a contribuição percentual de cada tipo de alimento para a dose total de ingestão (50 anos), considerando uma deposição idêntica dos 3 radionuclídeos considerados neste trabalho, para um acidente ocorrendo no verão. Pode ser observado que a contribuição de cada radionuclídeo para a dose efetiva total por ingestão varia para cada tipo de alimento e que a relevância de cada alimento para a dose total é diferente daquela relativa a cada um dos radionuclídeos considerados de forma individual. Conseqüentemente, para um termo-fonte relacionado a um acidente de reator, a composição da deposição é fundamental para a avaliação dos efeitos de medidas de proteção e de remediação para a população.



**Figura 5.41. Contribuição dos diversos alimentos para a dose total de ingestão, integrada em 50 anos, para uma deposição igual dos radionuclídeos considerados.**

A Figura 5.42 mostra a contribuição relativa de cada tipo de alimento para duas dietas diferentes, para um acidente ocorrendo, por exemplo, no verão. A dieta A representa a dieta totalmente proveniente da área contaminada, enquanto que a dieta B representa uma dieta em que apenas 50% dos cereais e da carne e 80% das hortaliças frutosas e leguminosas sejam provenientes da área contaminada. Neste exemplo, foi considerado apenas um radionuclídeo:  $^{137}\text{Cs}$ .



**Figura 5.42. Contribuição relativa para a dose de ingestão por  $^{137}\text{Cs}$ , integrada em 50 anos, para dois tipos de dieta.**

Também neste caso, fica evidente que a relevância de cada medida para a redução da dose na população vai ser muito dependente dos hábitos locais de consumo de alimentos.

#### **5.4 Definição de critérios de classificação para as medidas de proteção e de remediação**

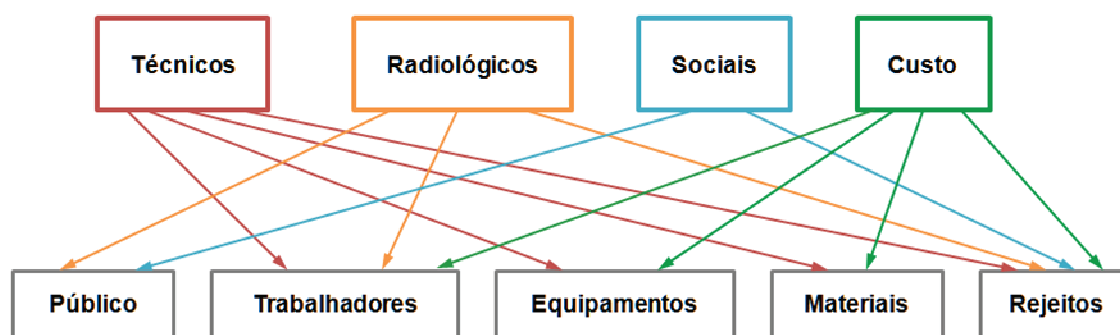
Procedimentos de análise multicritério vêm sendo utilizados para apoio a processos de decisão em diversas áreas onde o sistema de decisão é complexo, envolve alternativas conflitantes e incomensuráveis (MARTINS, 2009; MENEZES, 2008; SCHENKER-WICKI, 1988). Conforme descrito anteriormente, os seguintes aspectos devem ser considerados com a finalidade de definir os critérios a serem incluídos em uma matriz de avaliação dos processos de remediação de áreas acidentalmente contaminadas:

1. Aspectos técnicos – viabilidade de aplicação devido a: disponibilidade de equipamentos, utilidades, mão-de-obra qualificada;
2. Aspectos radiológicos – redução de dose em indivíduos do público expostos, doses ocupacionais, geração de rejeitos;
3. Aspectos político-sociais – impactos na população: psicológico-sociais e econômicos, decorrentes da perda de propriedades (móveis e imóveis), da escassez de abrigos, de água e de alimentos, reação pública concernente a pessoas ou a produtos provenientes das áreas afetadas, promovendo exclusão comercial, etc.;
4. Aspectos econômicos – custo de implantação, custo do gerenciamento de rejeitos, custos de reconstrução, custos relacionados à quebra de rotinas estabelecidas, perdas de processos produtivos, inclusive produções agrícolas.

A análise multicritério completa deve ser efetuada em conjunto por diversos órgãos e tem que levar em conta a situação real no momento da decisão. Desta forma, neste estágio, apenas os aspectos técnicos e radiológicos serão considerados. A abordagem de critérios econômicos é efetuada apenas de uma maneira preliminar, pela indicação qualitativa de situações de custo diretamente associadas à aplicação das medidas de proteção e de remediação. Em relação a aspectos político-sociais, apenas um parâmetro, diretamente relacionado ao tipo de medida, é considerado, de forma a

incluir apenas o impacto primário da aplicação direta da medida em relação ao grupo exposto, a necessidade de interrupção de processos produtivos e a necessidade de gerenciamento de rejeitos. Com base nestas informações foi desenvolvida uma matriz, apresentada na Figura 5.43.

A atribuição de pesos dentro de cada critério deve ser definida em função do tipo de área e do momento de aplicação da medida (médio prazo: 1 ano, longo prazo: 50 anos). Os tipos de áreas para as quais foram efetuadas as descrições das medidas de proteção e de remediação foram classificados da seguinte forma: áreas urbanas (Área tipo 1), áreas rurais (Área tipo 2) e ambientes aquáticos (Área tipo 3) (anexo digital).



**Figura 5.43. Matriz de avaliação estabelecida para o modelo multicritério.**

#### **5.4.1. Áreas urbanas**

Dentro dos aspectos radiológicos, as medidas adequadas a ambiente urbanos (listadas na tabela 5.8) devem ser classificadas de acordo com sua eficiência em reduzir a contaminação, em função do momento de sua aplicação após o evento de contaminação. Poucas medidas têm o potencial de levar a uma redução significativa para a dose, uma vez que existem diversas superfícies contribuindo para a exposição em um determinado ambiente, tais como paredes, telhados, áreas pavimentadas, solo, grama e árvores. De um modo geral, a única medida capaz de levar a uma redução acima de 50% inclui a remoção de solo superficial (ver Tabela 5.6).

No caso das áreas urbanas, pode ser verificado que existe uma similaridade de comportamento em relação a todos os ambientes em consequência da aplicação de medidas de proteção e de remediação, quando se utiliza a redução percentual de dose devido a uma determinada medida. Desta forma, recomenda-se que esta grandeza seja utilizada no processo de classificação das medidas.

Considerando a relevância da dose no primeiro ano, onde as taxas de dose são mais elevadas, sugere-se a criação de dois critérios, sendo o primeiro relativo à redução da dose integrada do primeiro ano após a contaminação e o segundo, relativo à redução da dose integrada de toda a vida dos indivíduos, considerada, para indivíduos adultos no momento da contaminação, como sendo a dose integrada nos 50 anos seguintes à contaminação.

As medidas podem ser classificadas de diversas maneiras. Uma delas seria considerar intervalos iguais de redução da dose total, conforme representado no exemplo B da Tabela 5.7. Uma outra forma seria considerar intervalos diferenciados, levando em conta os resultados esperados para a redução das medidas, conforme exemplo A apresentado na Tabela 5.7. Existem argumentos prós e contras as duas classificações. Desta forma, optou-se por não definir os valores dos critérios neste trabalho, mas apenas indicar as possibilidades, de forma a incluir, no futuro, a questão no processo de consulta a especialistas, previsto para definir a priorização dos diversos aspectos a serem considerados na análise multicritério.

**Tabela 5.7. Exemplos de procedimentos a serem adotados para a definição de valores de critérios relativos à eficiência da aplicação da medida em reduzir as doses do primeiro ano e da dose integrada de 50 anos.**

<i>Valor do critério</i>	<i>Redução da dose do primeiro ano</i>		<i>Redução da dose de 50 anos</i>	
	<i>Exemplo A</i>	<i>Exemplo B</i>	<i>Exemplo A</i>	<i>Exemplo B</i>
1	< 1 %	1 a 20 %	< 1%	1 a 20 %
2	1 a 10 %	21 a 40 %	1 a 10 %	21 a 40 %
3	11 a 30 %	41 a 60 %	11 a 30 %	41 a 60 %
4	31 a 60 %	61 a 80 %	31 a 60 %	61 a 80 %
5	> 60 %	> 80 %	> 60 %	> 80 %

No caso dos exemplos apresentados, o critério de classificação apresentado na Tabela 5.7 fornece a indicação da eficiência da medida aplicada a curto prazo (1 semana). Quanto maior a pontuação, mais atenção deve ser dada aos aspectos negativos da medida, tais como as doses ocupacionais, o custo e o impacto decorrentes

de sua aplicação, uma vez que o benefício em termos de dose será muito reduzido, podendo apenas ser justificado para situações específicas, em que não seja possível disponibilizar, a curto prazo, medidas de maior eficiência.

Um exemplo de classificação pode ser visto na Tabela 5.8, aplicada aos resultados apresentados na Tabela 5.5. Esta classificação está baseada nos procedimentos do exemplo A da Tabela 5.7.

É importante destacar que a atribuição de valores vai depender também de cenários de exposição específicos em que sejam consideradas as ocupações relativas dos diversos compartimentos por diferentes grupos da população.

**Tabela 5.8. Exemplo de aplicação de definição de valores numéricos aos critérios, em relação à eficiência da medida de proteção e de remediação aplicada a curto prazo (7 dias).**

<i>medida</i>	<i>local</i>	<i>% redução de dose</i>		<i>valor do critério</i>	
		<i>1 ano</i>	<i>50 anos</i>	<i>1 ano</i>	<i>50 anos</i>
lavar paredes	casas	2,3 ± 0,7	0,77 ± 0,02	2	1
	ruas	0,6	0,4	1	1
raspar paredes	casas	4	2,5	2	2
lavar telhas	casas	0,55 ± 0,09	0,09 ± 0,01	2	1
raspar telhas	casas	2,1 ± 0,4	2,4 ± 0,4	2	2
trocar telhas	casas	2,1 ± 0,4	2,4 ± 0,4	2	2
	ruas	5,4	0,90	2	1
corte de árvores	parques	16,2	4,2	3	2
	ruas	26,6	19,6	3	3
lavar pavimentos	casas	40	21	4	3
remoção de solo (5 cm)	casas	91,8 ± 0,5	94,3 ± 0,5	5	5

Outro critério a ser utilizado seria a perda de eficiência da medida devido ao atraso na sua aplicação. Neste caso também, diversos procedimentos poderiam ser estabelecidos para definir os critérios, conforme os exemplos mostrados na Tabela 5.9.

Apesar de aparentemente mais isento, o estabelecimento de critérios em intervalos iguais em relação ao parâmetro da descrição pode não ser o mais adequado, por ignorar a realidade dos resultados obtidos nas simulações e as reduções de dose possíveis de obter com as medidas. Porém, é importante que a seleção dos procedimentos seja um consenso entre especialistas na área, considerando a opinião e a experiência destes.

O critério de classificação apresentado na Tabela 5.9 fornece indicação sobre o prazo em que a aplicação da medida mantém a eficiência prevista.

**Tabela 5.9. Exemplos de procedimentos a serem adotados para a definição de valores de critérios relativos à perda de eficiência devido ao atraso na aplicação da medida.**

<i>Valor do Critério</i>	<i>Descrição – exemplo A</i>	<i>Descrição – exemplo B</i>
1	a aplicação da medida perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 1 semana	a aplicação da medida perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 3 meses
2	a aplicação da medida perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 1 mês	a aplicação da medida perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 6 meses
3	a aplicação da medida perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 6 meses	a aplicação da medida perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 9 meses
4	a aplicação da medida perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 1 ano	a aplicação da medida perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 12 meses
5	a aplicação da medida não perde mais de 50% de sua eficiência mesmo se aplicada após 1 ano	a aplicação da medida não perde mais de 50% de sua eficiência mesmo se aplicada após 1 ano



Desta forma, uma medida tipo 1 deve ser aplicada em prazo muito curto para ter a classificação definida pelo critério da Tabela 5.7. Esta medida requer então planejamento prévio, na medida do possível, e sua aplicação vai depender da disponibilidade de recursos imediatos. Já uma medida tipo 4 pode ser implantada após um planejamento mais adequado, por exemplo, em relação ao gerenciamento do rejeito gerado ou a um treinamento mais elaborado da força de trabalho, permitindo a otimização de vários fatores, como, por exemplo, as doses ocupacionais, a comunicação com o público, a aquisição de materiais e de equipamentos, entre outros.

Em relação aos critérios técnicos, estes deverão ser elaborados por consulta a especialistas nas diferentes áreas envolvidas (engenheiros, psicólogos, representantes de serviços públicos, etc.), considerando, por exemplo, as descrições contidas na Tabela 5.10, em relação à disponibilidade de equipamentos materiais e de serviços na área afetada.

**Tabela 5.10. Atributos relacionados aos critérios técnicos e descrição de valores de critérios relacionados à disponibilidade de equipamentos, materiais e serviços.**

Parâmetro \ Peso	5	4	3	2	1
Equipamentos	Disponibilidade imediata	Fácil de ser obtido	Possível de ser conseguido a baixo custo	Possível de ser conseguido a alto custo	Não disponível
Materiais	Disponibilidade imediata	Fácil de ser obtido	Possível de ser conseguido a baixo custo	Possível de ser conseguido a alto custo	Não disponível
Treinamento de mão de obra	Não necessita ou existe pessoal treinado disponível	Treinamento fácil e pessoal disponível	Necessita treinamento para categorias profissionais específicas	Necessita treinamento especializado	Necessita treinamento especializado e cuidados de radioproteção

A priorização dos critérios deverá ser organizada através de consulta a um painel de especialistas que, basicamente, deverá expressar a relevância relativa entre os critérios selecionados.

#### **5.4.2 Áreas rurais**

A definição de critérios para áreas rurais pode ser semelhante àqueles utilizados para áreas urbanas, conforme descrito nas Tabelas 5.7, 5.9 e 5.10. Entretanto, sua aplicação é mais complexa. O cenário é determinante na eficiência das medidas e envolvem diversos fatores que são específicos de cada local, tais como produtos agrícolas produzidos no local, hábitos de consumo da população e grau de subsistência pelos itens que compõem a dieta, tornando inviável a elaboração de cenários genéricos pré-definidos. Além disso, a grande dependência da sazonalidade em relação ao momento do acidente, levando em conta as práticas agropecuárias locais, torna qualquer avaliação prévia inadequada para ponderar as consequências do acidente e a eficiência das medidas de proteção e de remediação. Deve também ser considerado que, por exemplo, medidas em relação à contaminação de leite, à contaminação por iodo ou à contaminação de vegetais folhosos, devem ser aplicadas a muito curto prazo para serem eficientes, e estes casos são muito relevantes para a exposição de membros do público. Em cada caso, deve também ser analisada a possibilidade de fornecimento de alimentos substitutos em prazos adequados.

Considerando ainda os resultados apresentados nas Figuras 5.41 e 5.42, pode-se observar que decisões prévias sobre a relevância de medidas de proteção e de remediação para áreas rurais não devem ser efetuadas sem o conhecimento específico do termo fonte e da composição da dieta local. Além disso, os resultados deste trabalho mostram que uma quantidade muito grande de fatores específicos do local e do momento em que ocorre o acidente precisam ser considerados na análise, de forma a cumprir o objetivo de reduzir a dose da população de forma otimizada.

Em relação a doses coletivas, as medidas de proteção e de remediação devem privilegiar os itens alimentares que possuem contribuições relevantes para a dose, mas também deve ser considerada a produtividade da área. Parâmetros importantes que precisariam de uma ponderação para fazer parte de um modelo multicritério seriam a dose coletiva evitada pela aplicação da medida e o custo do item alimentar para a economia da região.

Considera-se então ser extremamente proeminente manter um ou mais grupos de pessoas bastante treinados nos procedimentos de avaliação, de tal modo que seja possível fornecer critérios radiológicos adequados de forma imediata após um evento de contaminação ambiental de áreas rurais.

## 6 CONCLUSÕES

A base de dados de medidas de proteção e de remediação inclui 23 medidas relativas a ambientes urbanos, 48 medidas relativas a ambientes rurais, e 10 medidas relativas a ambientes aquáticos, que foram descritas e avaliadas. As medidas para florestas descritas na literatura internacional não contemplam os ambientes de florestas tropicais e seus usos, e por isso, não foram incluídos neste trabalho. O anexo em CD contém esta base de dados organizada sob o formato de um catálogo de medidas, juntamente com os resumos aceitos e os trabalhos completos, os quais foram produzidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho e foram apresentados em congressos científicos da área em questão. Também se encontra no anexo uma lista dos principais parâmetros relacionados com a modelagem ambiental, os quais já estão incorporados ao SIEM e, portanto, foram utilizados nas simulações.

Não foram efetuadas simulações para ambientes aquáticos, uma vez que o modelo disponível não contempla estes ambientes. Sugere-se que esforços sejam direcionados para o desenvolvimento ou a seleção entre modelos disponíveis na literatura internacional para estabelecer um modelo básico para dar suporte a processos de tomada de decisão em caso de contaminação de ambientes aquáticos, sob o ponto de vista da radioproteção.

Os resultados deste trabalho indicam que qualquer processo de tomada de decisão deve ser efetuado caso a caso, de acordo com as condições reais da área atingida. Apesar de ser possível estabelecer algumas diretrizes básicas, soluções genéricas são desaconselhadas, uma vez que as doses resultantes serão muito dependentes da situação real e do momento da contaminação.

Em relação à contaminação de áreas urbanas, todas as casas oferecem blindagem significativa, quando comparadas com as áreas externas, porém com diferenças relacionadas ao tipo de material de construção. Para todas os ambientes simulados, a dose recebida no primeiro ano após uma contaminação com  $^{137}\text{Cs}$  corresponde a cerca de 16% da dose recebida em 50 anos e cerca de 50% da dose total é recebida nos 5 primeiros anos após a contaminação.

Observou-se que o comportamento das medidas de proteção e de remediação foi muito semelhante para todas as casas, quando descrito em termos de percentual de redução de doses. Este foi então o parâmetro utilizado para comparar os efeitos das diferentes medidas, bem como dos diferentes momentos de aplicação de cada uma das

medidas. Deve, no entanto, ser observado que a mesma redução percentual na dose, decorrente da aplicação de uma medida, vai levar a reduções diferentes nas doses efetivamente recebidas pelas pessoas.

A medida mais relevante para a redução da dose nos residentes de ambientes urbanos constituído de casas com jardins seria a remoção de solo. Observa-se que a medida é eficiente, sendo capaz de reduzir a exposição em até cerca de 80%, mesmo se aplicada 1 ano após a contaminação. Este tipo de medida, então, pode ainda ser aplicada a médio prazo, permitindo um planejamento adequado de gerenciamento do rejeito gerado. É importante ressaltar que, embora sejam eficazes na redução de doses, medidas como a remoção de solo possuem contraindicações, tais como a grande quantidade de rejeito gerado e a exposição de um grande número de pessoas durante a aplicação da medida e no gerenciamento posterior do rejeito gerado. Desta forma, por exemplo, o corte de grama pode ser efetuado rapidamente, e dependendo do equipamento utilizado, a coleta do rejeito pode ser automática. Cerca de 20% da dose de vida inteira dos indivíduos residentes na área seria evitada de maneira simples e rápida, enquanto que a remoção de solo poderia ser aplicada mais tarde, a partir de um planejamento adequado do gerenciamento de rejeitos.

Neste trabalho, as reduções de dose devido à aplicação de medidas de proteção e de remediação são avaliadas para cada tipo de ambiente considerando ocupação integral, sem considerar a composição de ambientes utilizados pela população na sua rotina diária. A decisão sobre a aplicação de medidas deve considerar também a contribuição daquele ambiente para a dose total dos grupos expostos, considerando os hábitos e usos pelo público de diferentes locais.

A partir dos resultados obtidos para as áreas urbanas, observa-se que é adequado classificar as medidas de proteção e de remediação de acordo com dois critérios, que são a sua eficiência em reduzir as doses no primeiro ano, onde são observadas as maiores taxas de dose, e sua eficiência em reduzir a dose de longo prazo, considerando 50 anos para um indivíduo adulto no momento da contaminação.

A interpretação de dados para áreas rurais é mais complexa do que para áreas urbanas, uma vez que a dinâmica ambiental nestas áreas é altamente dependente da época do ano em que ocorre o evento de contaminação.

No caso do  $^{137}\text{Cs}$ , cerca de 20 a 30% da dose é recebida no primeiro mês após a contaminação, enquanto que, para o  $^{90}\text{Sr}$ , este valor varia de 13 a 50%, dependendo da época do ano em que ocorre o acidente. Já para o  $^{131}\text{I}$ , mais de 90% da dose total é

recebida no primeiro mês. O alto percentual da dose do iodo recebida logo no primeiro ano reflete o efeito da meia-vida do radionuclídeo. A rápida transferência ambiental do iodo, associado à sua meia-vida curta indicam que medidas de proteção e de remediação em relação a este nuclídeo devem ser implantadas a curto prazo para serem eficientes.

Para o  $^{137}\text{Cs}$ , os tipos de alimentos que mais contribuem para a dose variam com o tempo após a deposição e com o período do ano em que ocorre a deposição. Isto se deve aos diferentes estágios de crescimento dos vegetais e do pasto de acordo com a estação do ano, bem como à dinâmica do césio em cada tipo de vegetal.

Para o  $^{90}\text{Sr}$ , a maior contribuição para a dose de ingestão é devido ao consumo de leite, para acidentes ocorrendo em qualquer época do ano, em curto, médio e longo prazos. Medidas de proteção e de remediação relacionadas a este alimento devem ser priorizadas no caso de uma contaminação com  $^{90}\text{Sr}$ .

Para o  $^{131}\text{I}$ , mesmo considerando uma população adulta, há relevância do leite na dose recebida devido à ingestão de alimentos. Considerando que cerca de 90% da dose total é recebida no primeiro mês após a contaminação, as medidas de proteção e de remediação em relação a uma contaminação por iodo devem privilegiar a proteção em relação a este alimento e devem ter caráter urgente, devendo ser aplicadas em muito curto prazo para serem eficazes.

A definição de critérios para áreas rurais pode ser semelhante àqueles utilizados para áreas urbanas; porém, sua aplicação é mais complexa. O cenário é determinante na eficiência das medidas e envolve diversos fatores que são específicos de cada localidade, tais como: produtos agrícolas produzidos no local, hábitos de consumo da população e grau de subsistência nos itens que compõem a dieta, tornando inviável a elaboração de cenários genéricos pré-definidos. Além disso, a grande dependência da sazonalidade em relação ao momento do acidente, considerando as práticas agropecuárias locais, torna qualquer avaliação prévia inadequada para avaliar as consequências do acidente e da eficiência das medidas de proteção e de remediação.

Desta forma, decisões prévias sobre a relevância de medidas para áreas rurais não devem ser efetuadas. Uma quantidade muito grande de fatores específicos do local e do momento em que ocorre o acidente tem que ser considerados na análise, de forma a cumprir o objetivo de reduzir a dose da população de maneira otimizada.

No entanto, em relação a uma contaminação agrícola com  $^{131}\text{I}$ , medidas de proteção e de remediação devem ser tomadas a curto prazo para serem eficientes na redução das doses. Em relação ao leite consumido por crianças, a retirada de consumo

deve ser efetuada de forma urgente, bem como o fornecimento de alimento substituto não contaminado. Para outros itens da alimentação, deve ser considerado que os três primeiros meses após o acidente são os mais relevantes para a dose efetiva comprometida, indicando que todas as ações necessárias para proteger ao máximo os indivíduos do público devem ser tomadas antes desse prazo.

É extremamente relevante manter um ou mais grupos de pessoas bastante treinados nos procedimentos de avaliação. Desta forma, será possível o fornecimento de critérios radiológicos adequados de modo imediato após um evento de contaminação ambiental de áreas rurais.

O trabalho terá continuidade com o desenvolvimento do modelo multicritério de tomada de decisão, a fim de que o efeito das medidas, em função do tipo de ambiente no momento de aplicação das medidas, possa ser avaliado juntamente com os parâmetros não radiológicos. A finalização deste modelo possibilitará que ele seja utilizado como uma poderosa ferramenta para a resposta a emergências dessa natureza, evitando não apenas a aplicação de medidas desnecessárias, como também o gasto de tempo com respostas inadequadas.

De uma forma resumida, os próximos passos serão: o levantamento de custos associados com a implantação das medidas, o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para realizar as análises multicritério, incluindo a definição dos critérios e dos fatores de peso, já introduzidos neste trabalho.

A implantação dessas informações obtidas através das simulações realizadas no SIEM será essencial para o preparo da Divisão de Atendimento a Emergências Radiológicas e Nucleares em resposta a possíveis acidentes envolvendo materiais radioativos.

Este trabalho recomenda que sejam efetuados estudos radioecológicos em ambientes tropicais envolvendo os radioisótopos de iodo e de rutênio, uma vez que estes se mostraram relevantes para as doses recebidas pelo público no acidente de Chernobyl e constituem importantes produtos de fissão também para reatores do tipo PWR, existentes no Brasil. Sugere-se ainda um levantamento específico sobre o comportamento de poluentes em florestas tropicais, de forma a montar uma base de conhecimento, a fim de que ela seja utilizada em planejamentos de emergência envolvendo a contaminação destes ambientes.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, R.N., XAVIER, A.M., HEILBRON, P.F.L., 1998, “Lessons of the radiological accident in Goiânia”, In: *Goiania, ten years later: the radiological accident with Cs-137 – Proceedings of an International Conference*, Vienna: IAEA. Department of Nuclear Safety, pp. 11-14, Goiânia, 23-31 Outubro.
- AMARAL, E.C.S., PARETZKE, H.G., PIRES DO RIO, M.A., CAMPOS, M.J., 1991a, “Radioecological measurements after the Goiânia accident”, In: *Proceedings of the Radiation Research 9th International Congress*, Toronto, 7-12 Julho.
- AMARAL, E.C.S., VIANNA, M.E.C., GODOY, J.M., ROCHEDO, E.R.R., CAMPOS, M.J., DORIO, M.A.P., OLIVEIRA, J.P., PEREIRA, J.C.A., REIS, W.G., 1991b, “Distribution of Cs-137 in soils due to Goiânia accident and decisions for remedial action during the recovery phase”, *Health Physics*, v.60, n.1, pp.91-98.
- AMMANN, M., 2006, “Finnish workshop on the restoration of contaminated residential areas after a nuclear accident: strategy generation and impact assessment”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.85, pp. 299-313.
- ANDERSSON, K.G., 1996, “Modeling external radiation doses in contaminated urban areas: Implications for development of decontamination strategies”, In: *Proceedings of the IRPA 9 – 9th International Congress on Radiation Protection*, pp. 3.265–3.268, Vienna, Abril.
- ANDERSSON, K.G., BROWN, J., MORTIMER, K., JONES, J.A., CHARNOCK, T., THYKIER-NIELSEN, S., KAISER, J.C., PROEHL, G., NIELSEN, S.P., 2008, “New developments to support decision-making in contaminated inhabited areas following incidents involving a release of radioactivity to the environment”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.99, pp. 439-454.
- ANDERSSON, K.G., ROED J., 2006, “Estimation of doses received in a dry-contaminated residential area in the Bryansk region, Russia, since the Chernobyl accident”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.85, pp. 228-240.
- ANDERSSON, K.G., ROED, J., EGED, K., KIS, Z., VOIGT, G., MECKBACH, R., OUGHTON, D.H., HUNT, J., LEE, R., BERESFORD, N.A., SANDALLS, F.J., 2003, *Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas*, Riso National Laboratory, Roskilde.



- ANDERSSON, K.G., ROED, J., FOGH, C.L., 2002, “Weathering of radiocaesium contamination on urban streets, walls and roofs”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.62, pp. 49–60.
- ARNOLD, L., 1991, *Recommendations for reduction of agricultural impact subsequent to a nuclear accident*, ANS Rep. 2387-R2 to Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Associated Nuclear Services, Epsom, UK.
- BALONOV, M., JACOB, P., LIKHTARIEV, I., MINENKO, V., 1996, “Pathways, levels and trends of population exposure after the Chernobyl accident”, In: *The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident*, EUR 16544 EN, Brussels.
- BUNR, 2000, *Compendium of measures to reduce radiation exposure following events with not insignificant radiological consequences*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, v.1-2.
- COELHO, M.R., SANTOS, H.G., SILVA, E.F., AGLIO, M.L. D., 2002, “O recurso natural solo”, In: MANZATTO, C. V., JUNIOR, E. F., PERES, J. R. R., *Uso agrícola dos solos brasileiros*, 1 ed., capítulo 2, Rio de Janeiro, Embrapa Solos.
- CONTI, L.F.C., 2002, *Desenvolvimento de um sistema integrado para avaliação de impacto radiológico ambiental em situações de emergência*. Tese de D.Sc., Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- CONTI L.F.C., ROCHEDO E.R.R., AMARAL E.C.S., 2002, “Desenvolvimento de um sistema integrado para avaliação de impacto radiológico ambiental em situações de emergência”, *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, v.4, n.3, pp. 872-879.
- COUGHTREY, P.J., JACKSON, D., THORNE, M.C., 1983, *Radionuclide distribution and transport in terrestrial and aquatic ecosystems: a critical review of data*, 1ª edição, volume 3, Rotterdam, A. A. Balkema.
- COUGHTREY, P.J., THORNE, M.C., 1983, *Radionuclide distribution and transport in terrestrial and aquatic ecosystems: a critical review of data*, 1ª edição, volume 1, Rotterdam, A. A. Balkema.
- CHARNOCK, T., BROWN, J., JONES, A.L., OATWAY, W., MORREY, M., 2003, *CONDO: Software for estimating the consequences of decontamination options*, Report NRPB-W43, Chilton.
- ECKERMAN, K.F., RYMAN, J.C., 1993, *External exposure to radionuclides in air, water and soil*, Federal Guidance Report N.12, US-EPA.

- EPA, 2010, United States Environmental Protection Agency, disponível em: <http://www.epa.gov/rpdweb00/radionuclides/cesium.html>.
- FRISSEL, M.J., DEB, D.L., FATHONY, M., LIN, Y.M., MOLLAH, A.S., NGO, N.T., OTHMAN, I., ROBISON, W.L., SKARLOU-ALEXIOU, V., TOPCUOĞLU, S., TWINING., J.R., UCHIDA, S., WASSERMAN, M.A., 2002, “Generic values for soil-to-plant transfer factors of radiocesium”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.58, n.2-3, pp.113-128.
- HEALTH PHYSICS, 1991, *Special issue: The radiological accident in Goiania*, v. 60, n. 1.
- IAEA, 2006, *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience*, In: Report of the Chernobyl Forum Expert Group ‘Environment’, Radiological Assessment Reports Series, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 1998, *The radiological accident in the reprocessing plant at Tomsk*, In: Accident Response Series, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 1996, *International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources*, In: Safety Series No. 115, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 1994, *Guidelines for agricultural countermeasures following an accidental release of radionuclides*, In: Technical Reports Series No. 363, International Atomic Energy Agency, Viena.
- IAEA, 1991, *Assessment of radiological consequences and evaluation of protective measures*, In: The International Chernobyl Project, Technical Report, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 1988, *The radiological accident in Goiania*, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IBGE, 2010, *Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009 – Avaliação nutricional da disponibilidade domiciliar de alimentos no Brasil*, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008\\_2009\\_aval\\_nutricional/pof20082009\\_avalicao.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pof/2008_2009_aval_nutricional/pof20082009_avalicao.pdf).
- IUR, 1989, *VI<sup>th</sup> Report of the working group soil-to-plant transfer factors*, International Union of Radioecologists Report prepared by RIVM, Bilthoven, Netherlands.

- JONES, J.A., SINGER, L.N., BROWN, J., 2006, “The EXPURT model for calculating external g doses from deposited material in inhabited areas”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.85, pp. 314-329.
- KAMBOJ, S., CHENG, J.-J., YU, C., DOMOTOR, S., WALLO, A., 2009, “Modeling of the EMRAS urban working group hypothetical scenario using the RESRAD-RDD methodology”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.100, pp. 1012-1018.
- MACACINI, J.F., TADDEI, M.H.T., SILVA, N.C., FUKUMA, H.T., WASSERMAN, A., 2002, “Fatores de translocação de Co-60, Sr-90 e Cs-137 em milho e batata”, *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, v.4, pp. 922-926.
- MARTINS, V.B., 2009, *Metodologia baseada em SIG e análise multicritério para a seleção de áreas para a construção de um repositório para combustível nuclear usado*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- MECKBACH, R., JACOB, P., PARETZKE, H.G., 1988, “Gamma exposures due to radionuclides deposited in urban environments – Part I: kerma rates from contaminated urban surfaces”, *Radiation Protection Dosimetry*, v.25, n.3, pp. 167-179.
- MENEZES, J.O.R., 2008, *Produção regional de aço: responsabilidade corporativa e contribuições do capital social para o desenvolvimento regional*. Tese D.Sc., Escola de Química, UFRJ, Rio de Janeiro.
- MÜLLER H., PRÖHL G., 1993, “ECOSYS-87: a dynamic model for assessing radiological consequences of nuclear accidents”, *Health Physics*, v.64, n.3, pp. 232-252.
- NISBET A., JONES, A., BROWN, J., MORTIMER, K., ROBERTS, G., MOBBS, S., 2008, *UK Recovery Handbook for Radiation Incidents: 2008*, In: HPA-RPD-042 – Health Protection Agency, UK.
- NISBET, A.F., MERCER, J.A., HESKETH, N., LILAND, A., THØRRING, H., BERGAN, T., BERESFORD, N.A., HOWARD, B.J., HUNT, J., OUGHTON, D.H., 2004, *Datasheet on countermeasure and waste disposal options for the management of food production systems contaminated following a nuclear accident*, In: Report NRPB-W58, Chilton.
- PIRES DO RIO, M.A., AMARAL, E.C.S., PARETZKE, H.G., 1994, “The resuspension and redeposition of Cs-137 in an urban area: the experience after the Goiânia accident”, *Journal of Aerosol Science*, v.25, n.5, pp. 821-831.

- RESTRAT-TD 14, 1999, *Manual on restoration strategies for radioactive-contaminated sites*, In: Restoration strategies for radioactively contaminated sites and their close surroundings, Project FI4P-CT95-0021a (PL 950128), v.1.
- ROCHEDO, E.R.R., 2000, *The radiological accident in Goiânia: environmental aspects in restoration of environments with radioactive residues*, In: International Atomic Energy Agency, Proceeding Series, IAEA, Vienna, pp. 365-384.
- ROCHEDO, E.R.R., AMARAL, E.C.S., BARTELL, S.M., 1991, “The relative significance of pathways and parameters for the caesium-137 soil decontamination scenario at Goiania”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.15, n.2, pp. 171-183.
- ROCHEDO, E.R.R., CONTI, L.F.C., PARETZKE, H.G., 1996, “PARATI- a dynamic model for radiological assessments in urban areas - Part I. Modeling of urban areas, their contamination and radiation fields”, *Radiation and Environmental Biophysics*, v.35, pp. 243-261.
- ROCHEDO, E.R.R., CONTI, L.F.C., PARETZKE, H.G., 1997, “PARATI - a dynamic model for radiological assessments in urban areas - Part II. Specifications of individuals and populations, their radiation exposures and variabilities”, *Radiation and Environmental Biophysics*, v.36, pp. 183-193.
- ROCHEDO E.R.R., CONTI L.F.C., PARETZKE H.G., 1998, “PARATI - A dynamic model for radiological assessments in urban areas - Part III. Parameter uncertainty analysis”, *Radiation and Environmental Biophysics*, v.36, pp. 285-292.
- ROCHEDO, E.R.R., CONTI, L.F.C., WASSERMAN, M.A.V., SALINAS, I.C.P., VINHAS, D.M., VETERE, M.I.C., PEREIRA, J.F., SILVA, D.N.G., 2008, “The development of environmental modeling tools in Brazil for emergency preparedness”, In: *Proceedings of the IRPA 12 – 12th International Congress of the International Radiation Protection Association*, Buenos Aires, 19-24 Outubro.
- ROCHEDO, E.R.R., PIRES DO RIO, M.A., COUTINHO, C.M.C., ACAR, M.E.D., ROMEIRO, C.H., 2000, “Avaliação a longo prazo das ações de remediação após o acidente radiológico de Goiânia”, In: *Anais do V Encontro Nacional de Aplicações Nucleares*, Rio de Janeiro, CD-ROM.
- ROCHEDO, E.R.R., SILVA, D.N.G., WASSERMAN, M.A.V., CONTI, L.F.C., 2009, “Remediation strategies after nuclear or radiological accidents: Part 2 – Accident scenarios for assessing effectiveness of cleanup procedures”, In: *IX Encontro Nacional de Aplicações Nucleares*, Rio de Janeiro, 27 Setembro-02 Outubro.

- ROCHEDO, E.R.R., WASSERMAN, M.A.V., 2000, “Avaliação de impacto ambiental: uso de dados genéricos versus uso de valores específicos para o local – caso do fator de transferência solo-planta”, In: *V Encontro Nacional de aplicações Nucleares*, Rio de Janeiro, CD-ROM.
- ROCHEDO, E.R.R., WASSERMAN, M.A., PIRES DO RIO, M.A., 2001, “The relevance of site specific data on environmental impact assessment”, In: *Proceedings of the V Regional Congress on Radiation Protection and Safety*, Recife, PE, 29 Abril-04 Maio, CD-ROM.
- ROED, J., 2003, *Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas*, In: Report Risø-R-1396(EN), Roskilde.
- ROED, J., ANDERSSON, K.G., 1996, “Clean-up of urban areas in the CIS countries contaminated by Chernobyl fallout”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.33, n.2, pp. 107–116.
- ROED, J., ANDERSSON, K.G. BARKOVSKY, A.N., FOGH, C.L., MISHINE, A.S., PONAMARJOV, A.V., RAMZAEV, V.P., 2006, “Reduction of external dose in a wet-contaminated housing area in the Bryansk Region, Russia”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.85, pp. 265-279.
- ROED, J., JACOB, P., 1990, *Deposition on urban surfaces and subsequent weathering*, In: Proceedings of the seminar on methods and codes for assessing the off-site consequences of nuclear accidents, Commission of the European Communities Report EUR 13013, Athens: Commission of the European Communities.
- ROSENTHAL, J.J., DE ALMEIDA, C.E., MENDONÇA, A.H., 1991, “The radiological accident in Goiania: the initial remedial actions”, *Health Physics*, v.60, n.1, pp. 7-15.
- SALINAS, I.C.P., 2006, *Determinação de fator de blindagem para construções tipicamente brasileiras*, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- SALINAS, I.C.P., CONTI, C.C., LOPES, R.T., 2007, “Effect of Windows and Doors on the Gamma Shielding Factor for Typical Houses in Brazil”, *Health Physics*, v.92, n.3, pp. 251-256.
- SALINAS, I.C.P., CONTI, C.C., LOPES, R.T., 2006a, “Effective density and mass attenuation coefficient for building material in Brazil”, *Applied Radiation and Isotopes*, v.64, pp. 13-18.

- SALINAS, I.C.P., CONTI, C.C., ROCHEDO, E.R.R., LOPES, R.T., 2006b, “Gamma shielding factor for typical houses in Brazil”, *Radiation Protection Dosimetry*, v.121, pp. 420-424.
- SCHENKER-WICKI, A., 1988, “The use of multi-criteria analysis (MCA) for evaluating feasible countermeasures after an accidental release of radioactivity”, In: *IV<sup>th</sup> International Symposium of Radioecology*, Cadarache, France.
- SEGAL, M.G., 1993, “Agricultural countermeasures following deposition of radioactivity after a nuclear accident”, *Science of the Total Environment*, v.137, n.1-3, pp. 31-48.
- THIESSEN, K.M., ANDERSSON, K.G., CHARNOCK, T.W., GALLAY, F., 2009a, “Modeling remediation options for urban contamination situations”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.100, pp. 564–573.
- THIESSEN, K.M., ARKHIPOV, A., BATANDJIEVA, B., CHARNOCK, T.W., GASCHAK, S., GOLIKOV, V., HWANG, W.T., TOMA’S, J., ZLOBENKO, B., 2009b, “Modeling of a large-scale urban contamination situation and remediation alternatives”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.100, pp. 413–421.
- THIESSEN, K.M., BATANDJIEVA, B., ANDERSSON, K.G., ARKHIPOV, A., CHARNOCK, T.W., GALLAY, F., GASCHAK, S., GOLIKOV, V., HWANG, W.T., KAISER, J.C., KAMBOJ, S., STEINER, M., TOMA’S, J., TRIFUNOVIC, D., YU, C., ZELMER, R.L., ZLOBENKO, B., 2008, “Improvement of modeling capabilities for assessing urban contamination: The EMRAS urban remediation working group”, *Applied Radiation and Isotopes*, v.66, n.11, pp. 1741– 1744.
- TRANJAN FILHO, A., RABELLO, P.N.P., 1998, *Acceptance of the site for the construction of the permanent radioactive waste repository at Abadia de Goiás*, In: *International Conference Goiânia – 10 years later*, IAEA, pp. 1256-1261.
- UNSCEAR, 2011, *2008 Report: Sources and effects of ionizing radiation*, v.2, United Nations Scientific Committee for the Effects of Atomic Radiation, Vienna.
- VETERE, M.I.C., ROCHEDO, E.R.R., CONTI, L.F.C., 2002, “Aplicação do sistema integrado de avaliação de impacto radiológico ambiental em situações de emergência para a avaliação da exposição radiológica de populações de áreas urbanas”, *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, v.4, n.3 pt1, pp. 729-736.
- VETERE, M.I.C., ROCHEDO, E.R.R., CONTI, L.F.C., 2001, “Environmental behavior of accidentally released radionuclides in urban environments”, In: *Proceedings of*

*the V Regional Congress on Radiation Protection and Safety*, IRPA, Recife, PE, 29 Abril-04 Maio, CD-ROM.

- VINHAS, D.M., 2004, *Adaptação do modelo dinâmico para avaliação radiológica de acidente nuclear em área rural nas condições de clima tropical*, Dissertação de M.Sc., Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Rio de Janeiro.
- VINHAS, D.M., ROCHEDO, E.R.R., WASSERMAN, M.A.V., CONTI, L.F.C., 2005, “Modeling the dynamics of radionuclide concentration in food after an accident in tropical areas”, *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, v.7, pp. 139-144.
- WASSERMAN, M.A., 2009, “Overview of 13 years of research on radionuclide behavior in Brazilian soils”, *Radioprotection*, v.44, n. 5, pp. 837–842.
- WASSERMAN, M.A., 1998, *The behaviour of caesium-137 in oxisols and Goiânia soil*, In: International conference Goiania, Ten Years Later, IAEA, pp. 346-353.
- WASSERMAN, M.A., BARTOLY, F., PORTILHO, A.P., ROCHEDO, E.R.R., VIANA, A.G., PÉREZ, D.V., CONTI, C.C., 2008a, “The effect of organic amendment on potential mobility and bioavailability of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$  in tropical soils”, *Journal of environmental Radioactivity*, v.99, pp. 554-562.
- WASSERMAN, M. A., BARTOLY, F., VIANA, A. G., SILVA, M. M., ROCHEDO, E. R. R., PEREZ, D. V., CONTI, C. C., 2008b, “Soil to plant transfer of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$  in Ferralsol, Nitisol and Acrisol”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v.99, pp. 546-553.
- WASSERMAN, M.A., PÉREZ, D.V., BARTOLY, F., 2002a, “Biogeochemical behavior of Cs-137 and Co-60 in tropical soils”, *Radioprotection*, v.37, pp. 277–282.
- WASSERMAN, M.A., PÉREZ, D.V., FERREIRA, A.C., CONTI, C.C., ROCHEDO, E.R.R., BARTOLY, F., VIANA, A.G., MOURA, G.P., POQUET, I.C., 2002b, “Valores de transferência solo-planta de Cs-137 em solos de sistemas agroecológicos tropicais”, *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, v.4, n.3, pp. 737-741.
- WASSERMAN, M.A., ROCHEDO, E.R.R., FERREIRA, A.C., CONTI, C.C., VIANA, A.G., BARTOLY, F., WASSERMAN, J.C., PÉREZ, D.V., 1999, *Plant uptake processes related to geochemical behaviour of radionuclides in some Brazilian soil*, In: FAO/IAEA/IUR Research Coordination Meeting on the Co-ordination

Research Programme on Classification of Soil Systems on the Basis of Transfer Factors of Radionuclides from Soil to Reference Plants, Izmir.

- WASSERMAN, M.A., VIANA, A.G., BARTOLY, F., PÉREZ, D.V., ROCHEDO, E.R., WASSERMAN, J.C., CONTI, C.C., VIVONE, R.J., 2005, “Bio-geochemical behavior of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in tropical soil”, *Radioprotection*, Suppl. 1, v.40, pp. S135-S142.
- WASSERMAN, M.A., VIANA, A.G., BARTOLY, F., PÉREZ, D.V., CONTI, C.C., 2004, *A way to assess radio-vulnerability of agro-ecosystems*, In: 9<sup>th</sup> Conference on Chemistry and the Environment and 2<sup>nd</sup> Meeting on Environmental Chemistry, Bordeaux, France, 29 Agosto-01 Setembro.
- WASSERMAN, M.A., PÉREZ, D.V., BARTOLY, F., POQUET, I., 2001, “Assessment of the mobility and bioavailability of  $^{60}\text{Co}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in contaminated soils”, In: Proceedings of the *Regional Congress on Radiation Protection and Safety*, v.5, Recife, pp. 63-71, 29 Abril-04 Maio.
- WASSERMAN, M.A.M., BELÉM, L.J., 1996, “Valores de transferência do  $^{137}\text{Cs}$  de Latossolos para plantas comestíveis”, In: *VI Congresso Geral de Energia Nuclear*, Rio de Janeiro, 27 Outubro-01 Novembro, CD-ROM.
- WASSERMAN, M.A.V., FERREIRA, A.C., ROCHEDO, E.R.R., CONTI, C.C., VIANA, A.G., BARTOLY, F., SILVA, M.M., PEREZ, D.V., PEREIRA, T.R., 2006, “Avaliação da vulnerabilidade de solos brasileiros à contaminação por Cs-137”, In: *2º Congresso Acadêmico sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CADMA*, Niterói, 9-11 Novembro.
- ZEEVAERT, T., BOUSHER, A., BRENDLER, V., JENSEN, P. H., NORDLINDER, S., 2001, “Evaluation and ranking of restoration strategies for radioactively contaminated sites”, *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 56, n.1-2, pp. 33-50.





# **ANEXOS**



**Catálogo de Medidas de Proteção e de  
Remediação para Ambientes Urbanos,  
Rurais e Aquáticos a Serem Aplicadas  
após a Fase Inicial de um Acidente  
Envolvendo Contaminação Ambiental**

**Diogo Neves Gomes da Silva  
Elaine Rua Rodriguez Rochedo  
Maria Angélica Vergara Wasserman**

# SUMÁRIO

## PARTE 1 – ÁREAS URBANAS ..... 06

### *Remoção da contaminação*

Aplainamento de ruas .....	08
Varrer ruas e calçadas a vácuo .....	10
Remoção da camada superior do solo através da aplicação de um revestimento de lignina .....	16
Remoção da camada superior do solo .....	18
Remoção manual da camada superior do solo .....	20
Remoção da relva (capina em áreas de parques) .....	32
Corte de grama .....	34
Poda ou remoção de árvores e de arbustos .....	36
Aplicação de jatos de areia ( <i>Sandblasting</i> ) em paredes .....	40
Abrasão mecânica de paredes de madeira .....	44
Troca de telhas .....	50

### *Lavagem/Limpeza de superfícies*

Lavagem de estradas e calçadas com mangueiras de incêndio .....	12
Lavagem de paredes com água de alta pressão .....	38
Tratamento de paredes com amônia .....	42
Lavagem de telhados. 1 - água a alta pressão .....	46
Limpeza de telhados. 2 - com dispositivo de limpeza .....	48
Limpeza de superfícies internas .....	52

### *Recobrimento da contaminação*

Inversão de placas e pedras de pavimentos .....	14
Aplicação de areia/ solo limpos ao redor de moradias e em áreas de uso frequente .....	22
Recobrimento da superfície com p. ex., asfalto em áreas de uso frequente .....	24

### *Diluição da contaminação*

Escavação de jardim .....	26
---------------------------	----

Aragem profunda (áreas de parques) .....	28
Aragem superficial (áreas de parques) .....	30
<b>PARTE 2 – ÁREAS RURAIS .....</b>	<b>55</b>
<b><i>Diluição da contaminação</i></b>	
Aragem normal .....	57
Aragem profunda .....	59
<b><i>Remoção da contaminação</i></b>	
Raspagem superficial e enterro (“ <i>Triple digging</i> ”) .....	61
Remoção da camada superior do solo por máquinas .....	63
Remoção da camada superior do solo e vegetação rasteira por máquinas .....	65
Destruição de produtos animais .....	67
<b><i>Recobrimento/Isolamento da contaminação</i></b>	
Estabilização da superfície do solo .....	68
Adição de uma camada de sorvente .....	70
<b><i>Tratamento do solo</i></b>	
Aplicação de calcáreos em solos ácidos .....	71
Aplicação de sapropel (resíduos orgânicos) .....	73
Aplicação de fertilizantes de potássio .....	75
Aplicação de aluminossilicatos .....	77
Aplicação de fertilizantes orgânicos .....	79
Aplicação de fertilizantes solúveis de fosfato .....	81
<b><i>Tratamento de animais</i></b>	
Adição de iodo estável na alimentação animal .....	83
Fornecimento de Azul da Prússia em pastilhas, para descontaminação rápida .....	84
Inserção do boli de Azul da Prússia para liberação lenta .....	86
Fornecimento de Azul da Prússia em blocos de sal .....	87
Suplementação da dieta com minerais argilosos ou zeolitos .....	89
Aumento do conteúdo de fibra na dieta de animais .....	91

Fornecimento de dietas ricas em cálcio para animais .....	92
Fornecimento de alginato na dieta para animais .....	93

### ***Alteração de uso***

Mudança na utilização do solo através da seleção de variedades adequadas de produtos agrícolas .....	94
Seleção de produtos agrícolas que acumulam baixos níveis de radionuclídeos .....	96
Cultivo de produtos agrícolas comestíveis que possam ser processados .....	98
Interrupção na produção de alimentos e cultivo de produtos não- comestíveis .....	99
Utilização do solo contaminado para alguns tipos de animais sob condições específicas .....	101
Substituição de gado ovino ou caprino por bovino .....	103
Mudança de produtos agrícolas aráveis para gado bovino .....	105
Mudança da utilização do solo para floresta .....	106
Proibição de caça, de pesca e de consumo de vegetais e água de superfície ....	108
Colheita de produtos agrícolas maduros .....	109
Colheita de produtos agrícolas e de grama para descarte ou estocagem .....	111
Atraso na colheita de forragem/ produtos agrícolas .....	113
Suspender o uso de soro de leite contaminado na alimentação de porcos .....	115
Desvio de produtos animais do consumo humano para o consumo animal .....	121
Cultivo de produtos de forragem com baixa tendência para contaminação .....	122
Impedimento da ingestão de solo contaminado por animais que ciscam .....	126
Processamento de leite contaminado para produtos estocáveis .....	129

### ***Evitar contaminação***

Recobrimento de áreas cultivadas com capa impermeável a água .....	110
Recobrimento de produtos agrícolas com capa impermeável a água .....	128

### ***Alteração de prática***

Aumento da altura do corte durante a colheita da forragem .....	116
Impedimento da ingestão de vegetação contaminada por animais que pastam .....	117

Remoção de animais em áreas contaminadas e/ou fornecimento de alimentos não-contaminados .....	119
Abate imediato antes e/ou logo após a deposição .....	123
Atraso no abate após a deposição .....	124
Mudança no tempo de abate para uma estação específica do ano .....	125
<b><i>Controle por monitoração</i></b>	
Monitoração dos animais .....	130
<b>PARTE 3 – AMBIENTES AQUÁTICOS .....</b>	<b>132</b>
<b><i>Remoção da contaminação</i></b>	
Abastecimento alternativo .....	134
Tratamento de água .....	136
Alteração do regime de captação de água .....	138
Proibição de pesca .....	142
Processamento do peixe .....	144
Aumento dos níveis de potássio e/ou de cálcio no lago .....	146
Drenagem de lagos e remoção da camada do topo de sedimentos contaminados .....	147
<b><i>Diluição da contaminação</i></b>	
Mistura controlada da água .....	140
Fornecimento de alimento não-contaminado .....	145
<b><i>Controle do consumo</i></b>	
Limitação dos tipos e das quantidades de peixe consumido .....	143
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>149</b>





**PARTE 1**  
**ÁREAS URBANAS**



<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 01</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Ruas, calçadas e outras superfícies pavimentadas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aplainamento de ruas.</b>
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	O aplainamento de estradas com maquinaria de manutenção pode remover uma fina camada do topo (aprox. 1 cm) da superfície de uma rua ou estrada asfaltada, em faixas de aproximadamente 2 m de largura. As máquinas são frequentemente equipadas com uma escova giratória para a coleta de resíduos em um caminhão. Se este não for o caso, deve ser providenciado um equipamento para esta coleta, ou deve ser realizada uma varredura manual. Como a penetração dos contaminantes no asfalto é desprezível, aproximadamente toda a contaminação pode ser removida. Efeito similar é obtido em ruas de concreto.
<i>Alvo</i>	Superfícies horizontais de asfalto ou de concreto, tais como ruas, calçadas e praças.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser considerado para áreas contaminadas de dimensões limitadas (centros urbanos) de alta densidade populacional.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser realizada logo que possível, assim que a situação radiológica estiver esclarecida; Se for realizada mais tarde, a dose evitada será significativamente menor (o decréscimo natural no nível de contaminação é de um fator de 3 ao longo do primeiro ano).
<i>Restrições técnicas</i>	Se a superfície da rua for muito irregular, a profundidade da raspagem não será uniforme.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Pode ser alcançada uma redução da contaminação de 80-90%.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Homogeneidade do tratamento; Regularidade e condição das estradas em relação à profundidade da raspagem; Remoção dos resíduos soltos; Habilidade do operador.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Aplainador de grande porte (alternativamente, pequenos aplainadores podem ser usados, montados numa miniescavadeira, embora estes consumam muito mais tempo de operação).
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Combustível: aprox. 200 L ha <sup>-1</sup> .
<i>Habilidades Requeridas</i>	4 operadores (trabalhadores habilitados de uma firma especializada). Tipicamente, o procedimento, com 4 trabalhadores, é realizado numa taxa de 1000 m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup> .
<i>Precauções de Segurança</i>	A estrutura do aplainador protege os operadores contra os resíduos soltos. Em áreas muito contaminadas, é recomendado usar proteção contra inalação de poeira.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Regularidade e condição das ruas (profundidade de raspagem necessária); Tamanho do aplainador e dispositivo de varredura; Habilidades do operador; Necessidade de recobrir superfícies raspadas (normalmente não é necessário); Custos da mão de obra especializada. O tamanho da área influencia o custo por unidade de área.

<i>Rejeito: Quantidade</i>	A remoção de uma camada de 1 cm de profundidade produz rejeito sólido de cerca de 15 kg m <sup>-2</sup> de área raspada.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Rejeito sólido com contaminação de aproximadamente 100 Bq m <sup>-3</sup> por Bq m <sup>-2</sup> na área tratada.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade da população e idade das pessoas expostas; Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	As doses dos trabalhadores devem ser consideradas. A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada. A dose é influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação, onde necessário.
<i>Outros Impactos</i>	A toxidez do rejeito pode precisar ser considerada no repositório.
<i>Experiência Prática</i>	Testado numa escala pequena no CIS; testes pré-Chernobyl no EUA.
<i>Referências</i>	A6, R3, R4, R6, B1.
<i>Comentários</i>	Geralmente não se recomenda reutilizar o rejeito do asfalto granulado misturado a um novo asfalto quente no local, uma vez que deve ser cuidadosamente avaliado se os volumes do novo asfalto diluiriam a contaminação de forma suficiente.

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 02</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Ruas, calçadas e outras superfícies pavimentadas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Varrer ruas e calçadas a vácuo.</b>
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Veículos com varredor a vácuo são utilizados por autoridades municipais em muitos países para limpeza rotineira de ruas. Alguns varredores aplicam um spray de água, para controlar a ressuspensão antes de remover a poeira. A poeira é removida por um dispositivo a vácuo e coletada em um recipiente no veículo, tipicamente atrás do assento do operador. O recipiente deve ser protegido com o intuito de reduzir a dose externa no motorista.
<i>Alvo</i>	Superfícies horizontais, de asfalto ou de concreto, tais como ruas, calçadas e praças.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Uma vez que o processo é rápido, ele pode ser aplicado a grandes áreas, se o equipamento estiver disponível. Áreas de alta densidade populacional devem ter prioridade para tratamento.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser realizado logo que possível, quando a situação radiológica for conhecida. Idealmente deve ser aplicada ainda na primeira semana após a contaminação. Deve ser realizado dentro das primeiras semanas, a fim de haver um efeito significativo.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Redução da contaminação em cerca de 50-70%, se a ação for realizada cedo.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Quantidade de poeira de rua na época da contaminação (grande influência). Tipo de superfície da rua (tamanho de partícula da poeira). Momento de implementação (se a varredura for atrasada por uma semana após a contaminação, a redução no nível de contaminação será menor, uma vez que ocorre a fixação nas superfícies. O tráfego remove grande parte da contaminação não aderida, reduzindo, portanto o DF alcançável). Homogeneidade do tratamento, regularidade e condição das ruas. Até certo ponto, habilidade dos operadores. Sprays de água para reduzir a ressuspensão de poeira.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Máquina de varredura a vácuo.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Combustível, água para spray (não essencial) 5-6 litros de óleo por hora. 0,1 m <sup>3</sup> de água por hora.
<i>Habilidades Requeridas</i>	1 operador (se a maquinaria estiver disponível no local, as autoridades municipais também poderão fornecer um operador habilitado com prática de operação do equipamento). Aproximadamente 3 10 <sup>-4</sup> h por m <sup>2</sup> tratado.
<i>Precauções de Segurança</i>	Em áreas muito contaminadas, a proteção respiratória pode ser recomendada, se não houver a aplicação de água para o controle de poeiras; nestas áreas, o recipiente que contém a poeira deve ser preenchido com água. Pode ser recomendável colocar uma blindagem metálica entre o operador e o recipiente de rejeito.
<i>Fatores que Influenciam a Dose</i>	As calhas da rua devem ser varridas cuidadosamente, para evitar acúmulo de contaminação (importante).

<i>Evitada</i>	Densidade da população; idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. As doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Medidas de proteção para proteção dos operadores contra a inalação, se necessário. Blindagem contra o rejeito nos recipientes.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Tipicamente, de 100 a 200 g m <sup>-2</sup> de área tratada.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Contaminação de aprox. 5-10.000 Bq m <sup>-3</sup> de rejeito por Bq m <sup>-2</sup> de área tratada.
<i>Dose Adicional</i>	Sem uma blindagem especial contra o rejeito nos recipientes, a taxa de dose em um operador (ou motorista do caminhão de rejeitos) numa área contaminada por 1 MBq m <sup>-2</sup> de Cs-137 pode ser da ordem de 50 μSv h <sup>-1</sup> , comparado com aprox. 12 μSv d <sup>-1</sup> tipicamente recebido por pessoas que moram na área. Influenciada por medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação de poeira contaminada, quando necessário.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Tamanho do varredor a vácuo; Habilidades do operador. Custos da mão de obra especializada.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Aplicado no CIS após o acidente de Chernobyl. Testes de pequena escala conduzidos na Dinamarca e nos EUA a fim de examinar a influência de, por ex., carga de poeiras nas ruas.
<i>Referências</i>	A6, A4, R4, R6, A3, C1.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 03</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Ruas, calçadas e outras superfícies pavimentadas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Lavagem/Limpeza de superfícies</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Lavagem de estradas e calçadas com mangueiras de incêndio.</b>
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Utilização de equipamento comum do Corpo de Bombeiros, para remoção de contaminação em pavimentos. A água pode ser tirada a partir de um hidrante, se disponível, ou de um lago ou rio.
<i>Alvo</i>	Superfícies horizontais de asfalto ou concreto, tais como ruas, calçadas e praças.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em áreas de tamanho limitado, mas de alta densidade demográfica, onde o equipamento está mais ou menos prontamente disponível.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser realizado logo que possível, quando a situação radiológica for conhecida. Deve ser realizado dentro das primeiras semanas, a fim de haver um efeito significativo.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Se aplicado logo após a contaminação, uma redução da contaminação na faixa de 50-75% pode ser normalmente alcançada.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Quantidade de poeira na rua no momento da contaminação; tipo de superfície (tamanho de partícula das poeiras); Intervalo de tempo entre a contaminação e a aplicação da medida (o efeito é significativamente reduzido no período de uma semana após a contaminação, devido à fixação da contaminação. Além disso, o tráfego removerá grande parte da contaminação fracamente aderida, reduzindo, portanto a eficiência da contramedida). Homogeneidade do tratamento, regularidade e condição das estradas. Até certo ponto, depende também da habilidade dos operadores.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Mangueira de incêndio e uma fonte de água (hidrante ou bomba d'água). Mangueiras estão geralmente disponíveis localmente. Pode ser necessário adquirir uma mangueira completa, com encaixes. Bomba a óleo, se necessário, para bombear água.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Água; óleo para o bombeamento, se necessário. Aproximadamente 20 m <sup>3</sup> de água por hora. Se for necessário bombeamento, cerca de 10 litros de óleo por hora.
<i>Habilidades Requeridas</i>	A brigada de fogo local tem experiência que pode ser utilizada, mas também pode ser executada por militares ou moradores locais, após receberem alguma instrução. Cerca de 0,01-0,02 h por m <sup>2</sup> tratado.
<i>Precauções de Segurança</i>	Roupas de proteção resistentes à água são recomendadas, particularmente para áreas muito contaminadas.
<i>Fatores que Influenciam os custos</i>	Até certo ponto, a habilidade do operador; Pode haver necessidade de uma bomba. Custos da mão de obra.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Tipicamente cerca de 100-200 g m <sup>-2</sup> de rejeito sólido em 0,25 m <sup>3</sup> de água por m <sup>2</sup> de área tratada.



<i>Rejeito: Tipo</i>	Cerca 5-10.000 Bq m <sup>-3</sup> no rejeito solido, por Bq m <sup>-2</sup> na área tratada, em cerca de 0,25 m <sup>3</sup> de água por m <sup>2</sup> de área tratada.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	As calhas de rua devem ser limpas cuidadosamente, para evitar o acúmulo de contaminação (importante). O método não deve ser considerado se as ruas não forem equipadas com sistema de drenagem. Densidade da população. Idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. As doses dos trabalhadores devem ser consideradas.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser de 2 a 3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada. Depende da utilização da roupa de proteção, conforme necessário.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Testes de pequena escala foram conduzidos na Dinamarca e nos EUA sob varias condições a fim de examinar a influência de, por ex., carga de poeira de rua.
<i>Referências</i>	A6, A5, R4, R6, R2, A3, W1.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 04</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Superfícies com pavimentos em pedras ou placas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Recobrimento da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Inversão de placas e pedras de pavimentos.</b>
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Como a contaminação, após o acidente, fica retida à superfície superior das pedras, invertê-las fornecerá proteção contra a radiação devido a esta contaminação.
<i>Alvo</i>	Pavimentos em placas contaminadas.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada em grandes áreas.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deveria ser geralmente realizado tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida, Já que o nível de contaminação neste tipo de superfície tipicamente pode decrescer por um fator de 2-3 ao longo do primeiro ano, dependendo da movimentação na área, a operação é mais eficiente se realizada cedo.
<i>Restrições técnicas</i>	A longo prazo, pode haver perda da memória e a contaminação voltar a ficar exposta ou, uma troca de placas pode levar à manipulação de material contaminado sem o necessário cuidado. A manutenção da área deve permanecer sob controle/supervisão.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Pode ser alcançada uma redução na taxa de dose de 50 a 80%.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tamanho da área coberta por placas/pedras (DRF numa grande superfície de placas é melhor do que numa superfície pequena). Espessura e características do material da pedra/placa, em relação à blindagem à radiação.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Pás ou ferramentas similares para escavação. Algumas pedras podem precisar substituição, dependendo da sua condição.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Areia, massa, cimento.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Pode ser realizada pelos moradores locais. Aproximadamente 10-20 minutos por m <sup>2</sup> tratado.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Habilidades do operador; Custos da mão de obra.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma, desde que as placas/pedras possam ser invertidas sem se quebrar.
<i>Rejeito: Tipo</i>	—
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade da população e idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande; Falta de consistência na manutenção da área a longo prazo.
<i>Dose Adicional</i>	As doses para os trabalhadores devem ser consideradas. A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada.
<i>Outros Impactos</i>	—

<i>Experiência Prática</i>	Apenas experimentos em pequena escala têm sido realizados, porém cálculos demonstram eficácia potencial.
<i>Referências</i>	A6, R4, R6, H2.
<i>Comentários</i>	Manutenção de controle das áreas tratadas para evitar re-exposição de superfícies contaminadas.

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 05</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas de solo incluindo vegetação</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Remoção da camada superior do solo através da aplicação de um revestimento de lignina.</b>
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	A espectrometria gama em amostras de perfis de solo mostra a profundidade da camada de solo que deve ser removida da área de um jardim ou parque para maximizar a redução da dose, com impacto mínimo na fertilidade do solo. Em alguns casos (particularmente com deposição seca), esta camada pode ser muito fina (aproximadamente 1 cm). Uma camada fina de lignina (produto de rejeito não tóxico proveniente da produção de papel) pode ser pulverizada na terra. Isto vai se misturar com as partículas do solo numa camada superior fina (de acordo com a diluição da água e da umidade ambiental), formando uma película fina na camada superior do solo, facilitando a remoção por raspagem.
<i>Alvo</i>	Áreas gramadas e outras áreas de solo, que não tenham sido capinadas desde a contaminação.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio (e outros radionuclídeos, se produtos comestíveis forem cultivados).
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em grande escala onde o equipamento e lignina estiverem disponíveis.
<i>Via de Exposição</i>	Principalmente exposição externa a partir do solo contaminado. Possivelmente também a dose proveniente do consumo dos produtos contaminados de hortas.
<i>Momento de Aplicação</i>	Pouco depois de uma deposição seca (desde que a penetração seja lenta, um atraso de algumas semanas poderia ser tolerado). Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida.
<i>Restrições técnicas</i>	A textura do solo (rochas) e geada podem ser restrições. Se a umidade do solo for alta, a lignina não secará o suficiente para formar uma camada com força suficiente para facilitar a raspagem. A fim de facilitar a formação da camada, qualquer grama/ vegetação deveria ser aparada tão cedo quanto possível antes de utilizar este método. Cuidado deve ser tomado para a raspagem (ou descamação) de apenas a camada contaminada.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Redução da contaminação por aprox. 65-85% se otimizado de acordo a distribuição do contaminante no solo.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Pode ser muito difícil controlar a migração descendente da lignina. O método tem efeito mais alto no solo descoberto do que na solo com cobertura de grama. Otimização da espessura da camada de solo removida (habilidade do operador). Regularidade da superfície da terra. Penetração vertical do césio (não deveria ser mais profunda do que aprox. 1 cm). Uniformidade da distribuição vertical do césio. Textura do solo e umidade (p. ex., solos friáveis podem ser difíceis de serem removidos completamente). Tempo decorrido (migração descendente do césio no solo durante períodos longos).
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Caminhão de água a jato com um tanque grande e dispositivo de pulverização. Raspadeiras (manuais) para a remoção da camada do solo/ lignina.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Combustível, lignina, água.

<i>Habilidades Requeridas</i>	Contratantes locais e trabalhadores agricultores/ municipais que possuam algumas habilidades/rotinas relevantes (a lignina é em alguns países, aplicada em estradas de terra para o controle de poeira); Aplicação da mistura de lignina/ água (aprox. 10 – 20 h por ha); Remoção por raspadeira manual (estimado a aprox. 100-200 h por ha), incluindo o carregamento dos rejeitos pelo caminhão de transporte, mas excluindo o transporte de rejeitos e o trabalho no repositório.
<i>Precauções de Segurança</i>	Proteção respiratória e roupas de proteção são recomendadas.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Principalmente habilidade do trabalhador e profundidade da camada. Custos da mão de obra. O tamanho da área influencia o custo por m <sup>2</sup> .
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Se uma camada superior de 1 cm for removida, produz aprox. 15 kg por m <sup>2</sup> de rejeitos.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Camada superior do solo. A quantidade de rejeito será menor do que aquela produzida pela maioria dos outros procedimentos de 'remoção de solo'. Contaminação de aprox. 100 Bq m <sup>-3</sup> por Bq m <sup>-2</sup> .
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade da população, padrão de comportamento e idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Se os produtos comestíveis forem cultivados, o método pode reduzir o seu conteúdo de contaminante correspondente ao DF.
<i>Dose Adicional</i>	As doses dos trabalhadores devem ser consideradas. A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada. Influenciado por medidas tomadas a fim de proteger operadores contra, p. ex., inalação, e contaminação da pele/ roupas.
<i>Outros Impactos</i>	Possível impacto adverso na biodiversidade. Risco de erosão do solo.
<i>Experiência Prática</i>	Testado numa pequena (apenas alguns m <sup>2</sup> ) na Dinamarca. Testes de ampla escala em, p. ex., EUA e Suécia somente tiveram o propósito de estudo de ressuspensão de poeira.
<i>Referências</i>	A6, A2, T1.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 06</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas de solo incluindo vegetação</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Remoção da camada superior do solo.</b>
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Quase sempre, a deposição de céσιο no solo permanece em poucos centímetros da camada superior por muitos anos - isto é certamente o caso em argilas e terras marrons. A análise por espectrometria gama em amostras de perfis de solo mostra a profundidade da camada de solo que deve ser removida para maximizar a redução da dose, com impacto mínimo na fertilidade do solo. A remoção pode ser realizada manualmente ou por miniescavadeiras tipo 'bobcat' (fácil para manobrar em áreas pequenas) ou por equipamento similar disponível.
<i>Alvo</i>	Áreas gramadas e outras áreas de solo, as quais não foram capinadas desde a contaminação. Áreas capinadas podem ser tratadas, porém o volume de rejeitos será muito maior, uma vez que será necessário remover uma camada mais espessa de solo.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio (e outros radionuclídeos, se houver cultivo de produtos comestíveis).
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em larga escala, tanto manualmente, quanto nos locais onde o equipamento estiver ou puder ficar disponível.
<i>Via de Exposição</i>	Principalmente exposição externa a partir do solo contaminado. Possivelmente também a dose proveniente do consumo dos produtos contaminados de hortas.
<i>Momento de Aplicação</i>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida, porém as doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Pode ainda após uma década restar uma fração significativa da dose de 70 anos. Já que o procedimento teria aproximadamente o mesmo efeito na taxa de dose após uma semana como após dois anos, e um grupo de equipamentos pode tratar uma grande área.
<i>Restrições técnicas</i>	A textura do solo (rochas) e, em alguns casos, a geada, podem ser restrições. Sob condições extremas, também a inclinação da área (em grande parte, dependente da habilidade do operador). Cuidado deve ser tomado a fim de remover o solo na profundidade ótima, e de não 'arrastar' a contaminação para dentro da superfície 'limpa'.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Redução da contaminação em aproximadamente 90-97%, se otimizado de acordo a distribuição do contaminante no solo.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Otimização da espessura da camada de solo removida (habilidade do operador). Regularidade da superfície da terra. Uniformidade da distribuição vertical do céσιο. Textura do solo (p. ex., solos friáveis podem ser difíceis de serem removidos completamente). Tempo (migração descendente do céσιο no solo durante longos períodos).
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Miniescavadeira 'bobcat' ou escavadeira. Equipamento de transporte/ tratamento de rejeitos (variável).
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Combustível – Aproximadamente 40 L por ha de combustível (excluindo o transporte de rejeitos) no custo atual por litro.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Contratantes locais ou trabalhadores municipais que possuam as habilidades/ rotina requeridas, e que poderiam, se necessário, instruir

	<p>outros dentro de um dia.          Tipicamente algumas 50-100h por ha, incluindo o carregamento de rejeitos pelo caminhão de transporte, mas excluindo o transporte de rejeitos e o trabalho no repositório.</p>
<i>Precauções de Segurança</i>	Logo após o acidente e sob condições muito empoeiradas, proteção respiratória e roupas de proteção podem ser recomendadas.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	<p>Principalmente habilidades do trabalhador, profundidade da camada, vegetação a ser removida, e tipo de maquinaria.          Custos da mão de obra.          O tamanho da área influencia o custo por m<sup>2</sup>.</p>
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Se 5 cm da camada superior do solo for removida, aprox. 70 kg por m <sup>2</sup> de rejeitos serão gerados.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Camada superior do solo. Contaminação de aprox. 20 Bq m <sup>-3</sup> por Bq m <sup>-2</sup> .
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	<p>Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.          Se os produtos agrícolas comestíveis crescerem, o método pode reduzir o seu conteúdo contaminante correspondendo ao DF.</p>
<i>Dose Adicional</i>	<p>A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada.          Influenciado por medidas tomadas a fim de proteger operadores contra, por ex., inalação, e contaminação da pele/ roupas, onde forem requeridas.</p>
<i>Outros Impactos</i>	<p>Possível impacto adverso na biodiversidade.          Risco de erosão do solo.</p>
<i>Experiência Prática</i>	Testado em escala semi-ampla (aproximadamente 2000 m <sup>2</sup> ) em diversas ocasiões no CIS.
<i>Referências</i>	A6, R3, R4, A5, A3, F1, V1.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 07</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas de solo incluindo vegetação</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Remoção manual da camada superior do solo.</b>
<b>Superfície</b>	Áreas de solo incluindo vegetação.
<b>Objetivo</b>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<b>Descrição da Contramedida</b>	Quase sempre, a deposição de céσιο no solo permanece em poucos centímetros da camada superior por muitos anos - isto é certamente o caso em argilas e terras marrons. A análise por espectrometria gama em amostras de perfis de solo mostra a profundidade da camada de solo que deve ser removida para maximizar a redução da dose, com impacto mínimo na fertilidade do solo. A remoção pode ser realizada manualmente com uma pá.
<b>Alvo</b>	Áreas gramadas e outras áreas de solo que não tenham sido capinadas desde a contaminação. Áreas capinadas podem ser tratadas, porém o volume de rejeitos será muito maior, uma vez que será necessário remover uma camada mais espessa de solo.
<b>Radionuclídeos</b>	Césio (e outros radionuclídeos, se produtos comestíveis forem cultivados).
<b>Escala de Aplicação</b>	Pode ser realizada em larga escala.
<b>Via de Contaminação</b>	Nenhuma (possivelmente absorção pela raiz em hortas).
<b>Via de Exposição</b>	Principalmente exposição externa a partir do solo contaminado. Possivelmente também a dose proveniente do consumo dos produtos contaminados de hortas.
<b>Momento de Aplicação</b>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida, porém as doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Pode ainda após uma década restar uma fração significativa da dose de 70 anos. Já que o procedimento teria aproximadamente o mesmo efeito na taxa de dose após uma semana ou após dois anos, poderia ser aplicado por um longo período.
<b>Restrições técnicas</b>	A textura do solo (grandes rochas), neve e, em alguns casos, a geada podem ser restrições/ impedimentos.
<b>Eficácia da Contramedida</b>	Redução da contaminação por aproximadamente 90-97%, se otimizado de acordo a distribuição do contaminante no solo.
<b>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</b>	Otimização da espessura da camada de solo removida. Regularidade da superfície da terra. Uniformidade da distribuição vertical do céσιο. Textura do solo (p. ex., camadas de solo seco se desintegrando serão mais difíceis de serem removidas completamente). Tempo (migração descendente do céσιο no solo). Cuidado deve ser tomado a fim de remover solo na profundidade ótima.
<b>Necessidade de Equipamento Específico</b>	Pás. Equipamento de transporte/ tratamento de rejeitos (variável).
<b>Materiais de Consumo Requeridos</b>	Combustível para o transporte de rejeitos.



<i>Habilidades Requeridas</i>	Fornecimento de pouca instrução aos habitantes do local. Tipicamente 0,1h por m <sup>2</sup> , incluindo o carregamento de rejeitos pelo caminhão de transporte, mas excluindo o transporte de rejeitos e o trabalho no repositório.
<i>Precauções de Segurança</i>	Logo após o acidente e sob condições muito empoeiradas, proteção respiratória e roupas de proteção podem ser recomendadas.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Profundidade da camada. Vegetação a ser removida. Velocidade de trabalho individual. Custos da mão de obra. O tamanho da área influencia o custo por m <sup>2</sup> .
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Se 5cm da camada superior do solo for removida, isto produz um rejeito correspondente a alguns 70kg por m <sup>2</sup> .
<i>Rejeito: Tipo</i>	Camada superior do solo. Contaminação de aprox. 20 Bq m <sup>-3</sup> por Bq m <sup>-2</sup> .
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Se os produtos agrícolas comestíveis crescerem, o método pode reduzir o seu conteúdo contaminante correspondendo ao DF.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada. Depende das medidas tomadas a fim de proteger operadores contra, p. ex., inalação, e contaminação da pele/ roupas, onde for necessário.
<i>Outros Impactos</i>	Possível perda (parcial) da biodiversidade. Risco de erosão do solo.
<i>Experiência Prática</i>	Testado em escala semi-ampla (aprox. 400 m <sup>2</sup> ) em diversas ocasiões no CIS. Realizada numa ampla escala após o acidente de Chernobyl, mas não otimizada com respeito à distribuição do contaminante, e não realizada consistentemente sobre uma grande área.
<i>Referências</i>	A6, R5, F1.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 08</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas de solo incluindo vegetação, parques e praças</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Recobrimento da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aplicação de areia/ solo limpos ao redor de moradias e em áreas de uso frequente.</b>
<b>Superfície</b>	Áreas de solo incluindo vegetação.
<b>Objetivo</b>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<b>Descrição da Contramedida</b>	A areia ou o solo radiologicamente 'limpos' (escavados de camadas de solo profundas, para onde os contaminantes não penetraram, ou de fontes não contaminadas) podem ser aplicados ao redor de moradias, e em outras áreas abertas, onde pessoas permanecem por muito tempo (p. ex., playgrounds) para proteger contra a irradiação do solo. Esta opção pode ser tipicamente aplicada a fim de reduzir a taxa de dose a partir de uma contaminação residual na superfície de um solo após a remoção de uma camada superior do solo.
<b>Alvo</b>	Áreas de solo (ou gramado) e outras áreas abertas ao redor de moradias.
<b>Radionuclídeos</b>	Césio (e outros radionuclídeos, se produtos comestíveis forem cultivados).
<b>Escala de Aplicação</b>	Pode ser realizada em larga escala ao redor de moradias, se o material de cobertura limpo puder ser encontrado.
<b>Via de Contaminação</b>	Nenhuma (possivelmente absorção pela raiz em hortas).
<b>Via de Exposição</b>	Principalmente exposição externa a partir do solo contaminado. Possivelmente também a dose proveniente do consumo dos produtos contaminados de hortas.
<b>Momento de Aplicação</b>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida, porém as doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Pode ainda após uma década restar uma fração significativa da dose de 70 anos. Já que o procedimento teria aproximadamente o mesmo efeito na taxa de dose após uma semana ou após dois anos, poderia ser aplicado por um longo período.
<b>Restrições técnicas</b>	A areia/ solo não podem ser fornecidos a partir de camadas profundas durante os períodos de geada.
<b>Eficácia da Contramedida</b>	Redução da contribuição da taxa de dose em até 75-85% por meio da aplicação de 10cm de solo sobre uma área grande (>100m <sup>2</sup> ).
<b>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</b>	Espessura da camada. Tamanho da área tratada (áreas grandes terão um DRF mais alto). Traços de contaminação em solo/ areia 'não contaminados'. Regularidade da superfície do solo. Cuidado deve ser tomado a fim de distribuir a camada de areia/ solo uniformemente.
<b>Necessidade de Equipamento Específico</b>	Equipamento recomendado para escavação e aplicação de solo/ areia: miniescavadeira 'bobcat'. O procedimento poderia também ser realizado por pás, embora seja necessária uma mão de obra muito mais intensa. Caminhão para o transporte de solo/ areia.
<b>Materiais de Consumo Requeridos</b>	Solo/ areia limpos; Combustível para o transporte de solo/areia não contaminado, no custo usual por litro: Aproximadamente 60 L por ha.
<b>Habilidades Requeridas</b>	Contratantes locais ou trabalhadores municipais que possuam as habilidades/ rotina requeridas, e que poderiam, se necessário, instruir outros dentro de um dia. Cuidado deve ser tomado a fim de distribuir a camada de areia/ solo uniformemente. Tipicamente cerca de 80 – 160 h por ha, incluindo a escavação de areia/ solo limpos, mas excluindo o transporte de areia/ solo ao local (variável).
<b>Precauções de Segurança</b>	—
<b>Fatores que Influenciam os Custos</b>	Espessura da camada; habilidade do operador; Custos da mão de obra tipo e condições (p. ex., umidade, estação) da areia/ solo, vegetação, topografia. O tamanho da área influencia o custo por m <sup>2</sup> . Distância entre o suprimento de areia/ solo limpos e o equipamento e os materiais de consumo.

<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Consistência (ambas vertical e horizontalmente) em realizar o procedimento numa área grande (sem tratamento, será esperado que, na fase inicial, aprox. um terço da taxa de dose de uma área de solo infinitamente grande e aberta venha de uma contaminação de mais de 16m de distância. Entretanto, a proteção fornecida através de, por ex., construções numa área urbana/ industrial, limitará grandemente as contribuições da taxa de dose de uma área distante).
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada.
<i>Outros Impactos</i>	Risco de erosão do solo (a partir da aplicação de solo/ areia limpos).
<i>Experiência Prática</i>	O método tem sido testado intensivamente no CIS.
<i>Referências</i>	A6, G1, H1.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 09</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas de solo incluindo vegetação</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Recobrimento da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Recobrimento da superfície com p. ex., asfalto em áreas de uso frequente.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas de solo incluindo vegetação.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Uma camada de asfalto (ou alternativamente, por ex., concreto ou pedras de pavimentação) pode ser aplicada em áreas frequentemente ocupadas, por ex., adjacentes a moradias, principalmente para proteger contra radiação as pessoas (descansando/ brincando) ao ar livre. Esta medida deve ser frequentemente considerado para a redução de radiação residual após a remoção de uma camada superior do solo. Geralmente, o procedimento seria para aplicar uma camada de cascalho estabilizante, em seguida asfaltar (por pás e outras ferramentas manuais) e finalmente aplicar um rolo compressor para consolidar.
<i>Alvo</i>	Áreas de solo e outras áreas abertas de dimensões limitadas (tipicamente ao redor de construções urbanas/ industriais), onde as pessoas geralmente permanecem por muito tempo quando estão ao ar livre.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada numa grande escala ao redor de moradias, se o asfalto (ou, alternativamente, por ex., pedras de pavimento) puder ser fornecido.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa a partir do solo contaminado.
<i>Momento de Aplicação</i>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida, porém as doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Pode ainda após uma década restar uma fração significativa da dose de 70 anos. Já que o procedimento teria frequentemente e aproximadamente o mesmo efeito na taxa de dose após uma semana como após dois anos, ele poderia ser realizado durante um longo período.
<i>Restrições técnicas</i>	Geralmente, requer temperaturas acima de 5°C. Caso contrário, o asfalto esfriará rapidamente e a consolidação será inadequada. Inclinação do terreno (máxima aproximadamente 30°).
<i>Eficácia da medida</i>	Redução da contribuição da taxa de dose por tipicamente alguns 50-75% por meio da aplicação de 5-6cm de asfalto sobre uma área relativamente grande (>20m <sup>2</sup> ).
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Espessura da camada (tipicamente 5-10cm). Tamanho da área tratada (áreas grandes terão um DRF de 'superfície' mais alto). Densidade (para o asfalto - dependente do tipo de pedregulho - tipicamente aprox. 1,6g por cm <sup>3</sup> , e no máx. aprox. 2g por cm <sup>3</sup> ). Traços de contaminação no material de cobertura. Regularidade da superfície da terra.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Pequenos rolos compressores de asfalto, pás, 'ancinhos' especiais para aplainar camadas de cascalho/ asfalto. Caminhões de transporte de asfalto/ rolo compressor (variável).
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Asfalto, cascalho estabilizante; combustível para o rolo compressor e (principalmente) para o transporte da maquinaria e do asfalto/cascalho.

<i>Habilidades Requeridas</i>	Trabalhadores profissionais de estrada que tenham a habilidade/rotina necessária. Asfaltamento de 50 m <sup>2</sup> (aplicação de cascalho e de asfalto e compressão) tipicamente ocupa 4 pessoas durante algumas 3-4 horas. Além disso, custos de transporte variável.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Espessura da camada, taxas de trabalho individuais, tipo de asfalto, necessidade de drenagem/ montagem de esgoto, vegetação que pode ser removida antes de asfaltar. Distância entre a fábrica/ máquinas de asfalto e os materiais de consumo. Custos da mão de obra. O tamanho da área influencia o custo por m <sup>2</sup> .
<i>Precauções de Segurança</i>	As precauções usuais para trabalhadores de asfalto (capacetes, luvas, sapatos de segurança).
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Tamanho da área tratada em relação ao tipo de ambiente (sem tratamento, será esperado que, na fase inicial, aprox. um terço da taxa de dose de uma área de solo infinitamente grande e aberta venha de uma contaminação de mais de 16m de distância. Entretanto, a proteção fornecida através de, por ex., construções numa área urbana/ industrial, limitará grandemente as contribuições da taxa de dose de uma área distante).
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada.
<i>Outros Impactos</i>	Perda total da biodiversidade na área tratada.
<i>Experiência Prática</i>	O método tem sido aplicado amplamente no CIS após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	A6, G1, H1.
<i>Comentários</i>	O processo de asfaltamento pode, por ex., também ser realizado através da aplicação de uma camada espessa de cascalho, seguida pela pulverização de uma camada de emulsão de lacre de asfalto fina, e no topo uma fina camada de cascalho.

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 10</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas de solo incluindo vegetação</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Diluição da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Escavação de jardim.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas de solo incluindo vegetação.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Sem intervenção, quase invariavelmente, a deposição de céσιο no solo permanece em poucos centímetros da camada superior por muitos anos - isto é certamente o caso em argilas e terras marrons. Portanto, se as camadas do topo do solo forem escavadas para uma profundidade de aproximadamente 30cm e se procura trazer o gramado ao fundo deste perfil vertical, é fornecida uma proteção significativa contra a radiação a partir do material originalmente depositado no solo.
<i>Alvo</i>	Áreas gramadas e outras áreas de solo, que não tenham sido capinadas desde a contaminação.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio (e outros radionuclídeos, se produtos comestíveis forem cultivados).
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em larga escala em áreas de jardins pelos proprietários das casas.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma (possivelmente absorção pela raiz em hortas).
<i>Via de Exposição</i>	Principalmente exposição externa a partir do solo contaminado. Possivelmente também a dose proveniente do consumo dos produtos contaminados de hortas.
<i>Momento de Aplicação</i>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida, porém as doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Pode ainda após uma década restar uma fração significativa da dose de 70 anos. Já que o procedimento teria aproximadamente o mesmo efeito na taxa de dose após uma semana como após dois anos, poderia ser realizado durante um longo período. Não pode ser realizada durante os períodos de geada.
<i>Restrições técnicas</i>	A textura do solo (pedras grandes) e geada podem ser restrições. Os contaminantes serão trazidos próximo ao nível da água subterrânea. O método envolve trabalho manual do qual algumas pessoas não serão capazes.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Redução da contribuição da taxa de dose por tipicamente aprox. 50-75%. Se houver cultivo de produtos comestíveis, o método pode reduzir a dose de consumo, dependendo do sistema da raiz do produto.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tamanho da área tratada (áreas grandes terão um DRF mais alto). Tipo de solo e condições (solo solto será mais difícil de tratar com o efeito ótimo). Uniformidade da distribuição vertical do céσιο. Tempo (migração descendente do céσιο no solo). Possivelmente, a ressuspensão do contaminante poderia ter um impacto na eficácia se o método for realizado muito cedo.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Pás.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—

<i>Habilidades Requeridas</i>	Pode ser realizada por habitantes do local, sendo necessário apenas fornecer pouca instrução. Aproximadamente 10-15 minutos por m <sup>2</sup> .
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Taxas de trabalho individuais, tipo e condições do solo (por ex., umidade, estação), vegetação, topografia, custos da mão de obra.
<i>Precauções de Segurança</i>	Particularmente, logo após o acidente e sob condições muito empoeiradas, proteção respiratória e roupas de proteção podem ser recomendadas.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento sobre uma grande área (sem tratamento, será esperado que, na fase inicial, aprox. um terço da taxa de dose de uma área de solo infinitamente grande e aberta venha de uma contaminação de mais de 16 m de distância. Entretanto, a proteção fornecida através de, por ex., construções numa área urbana/ industrial, limitará consideravelmente as contribuições da taxa de dose de uma área distante). Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Se os produtos comestíveis forem cultivados, o método pode reduzir a dose de consumo, dependendo do sistema da raiz do produto.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada. Influenciado por medidas tomadas para a proteção dos operadores contra a inalação de contaminantes e a contaminação da pele/ roupas, onde forem necessárias.
<i>Outros Impactos</i>	O procedimento leva a contaminação próximo à água subterrânea. O céσιο, entretanto, normalmente se ligará muito fortemente no solo. Possível perda (parcial) da biodiversidade. Risco de erosão do solo.
<i>Experiência Prática</i>	O método tem sido testado numa pequena escala na Europa.
<i>Referências</i>	A6, R4, R6.
<i>Comentários</i>	Outros métodos, tais como a escavação tripla, são mais eficientes na redução da taxa de dose.

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 11</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas amplas de solo incluindo vegetação</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Diluição da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aragem profunda (áreas de parques).</b>
<i>Superfície</i>	Áreas de solo incluindo vegetação.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Sem intervenção, geralmente se espera que muito da deposição do céσιο no solo permaneça ao longo de vários anos distribuído nos poucos centímetros da camada superior do perfil de solo. Através da aragem profunda com um arado comum de sulco único, numa profundidade de cerca de 45cm, a contaminação é enterrada profundamente no solo. A contaminação fica então bem protegida e é levada para fora da zona de absorção de algumas plantas.
<i>Alvo</i>	Grandes áreas urbanas abertas de solo (por ex., parques) que não tenham sido capinadas desde a contaminação.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio (e outros radionuclídeos, se produtos comestíveis forem cultivados).
<i>Escala de Aplicação</i>	Realizável em uma ampla escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma (possivelmente absorção pela raiz se o alimento for produzido).
<i>Via de Exposição</i>	Principalmente exposição externa a partir do solo contaminado. Possivelmente também a dose proveniente do consumo dos produtos contaminados de hortas.
<i>Momento de Aplicação</i>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida, porém as doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Pode ainda após uma década restar uma fração significativa da dose de 70 anos. Já que o procedimento teria frequentemente e aproximadamente o mesmo efeito na taxa de dose após uma semana como após dois anos, um grupo de equipamento pode tratar uma grande área.
<i>Restrições técnicas</i>	A textura do solo (grandes rochas), coberturas de neve e a geada podem ser restrições. O solo não deveria ser muito solto (arenoso). A aplicação de fertilizantes pode ser necessária. Profundidade do solo > 0,5 m é necessária para a aragem profunda.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Redução da contribuição da taxa de dose por aprox. 83-90%. Redução da dose interna: toda a contaminação nos 20 cm mais superficiais pode ser reduzida por 90-95%. A redução da dose de ingestão depende, por ex., do sistema da raiz dos produtos cultivados na área.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo de solo e condições (solo 'solto' será mais difícil de tratar). Uniformidade da distribuição vertical do céσιο. Tempo (migração descendente do céσιο no solo). Possivelmente, a ressuspensão do contaminante poderia ter um impacto na eficácia se o método for realizado muito cedo.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Arado (prontamente disponível em algumas áreas europeias, e pode ficar disponível em outras); Trator.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Combustível: aprox. 15 L por ha.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Pode ser realizada por trabalhadores/agricultores que sejam familiarizados com a aragem, porém devem ser instruídos cuidadosamente sobre o objetivo do procedimento. Aprox. 1,5h por ha <sup>-1</sup> (um operador).
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Habilidades do operador. Tipo de solo e condições (por ex., umidade, estação), vegetação, topografia, custos de mão de obra.



<i>Precauções de Segurança</i>	Particularmente, logo após o acidente e sob condições muito empoeiradas, proteção respiratória e roupas de proteção podem ser recomendadas.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento sobre uma grande área. Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Se os produtos comestíveis crescerem, o método pode reduzir a dose de consumo, dependendo do sistema de raiz do produto.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada. Influenciado por medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação de contaminantes e a contaminação da pele/ roupas, onde forem necessários.
<i>Outros Impactos</i>	O procedimento traz a contaminação próximo à água subterrânea. O céσιο, entretanto, normalmente se ligará muito fortemente ao solo. Risco de erosão do solo. Restrição futura na utilização do solo: não deve ser capinado profundamente. Complica severamente a subsequente remoção da contaminação.
<i>Experiência Prática</i>	Testado amplamente no CIS e numa escala limitada na Dinamarca.
<i>Referências</i>	A6, H2, A4, R4, V1.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 12</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas amplas de solo incluindo vegetação</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Diluição da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aragem superficial (áreas de parques).</b>
<i>Superfície</i>	Áreas de solo incluindo vegetação.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Sem intervenção, geralmente se espera que muito da deposição do céσιο no solo permaneça ao longo de vários anos distribuído nos poucos centímetros da camada superior do perfil de solo. Através da aragem com um arado comum de sulco único numa profundidade de alguns 25cm, a contaminação é enterrada no solo. A contaminação é então bem protegida e é levada para fora da zona de absorção de algumas plantas.
<i>Alvo</i>	Grandes áreas urbanas abertas de solo (por ex., parques), as quais não foram capinadas desde a contaminação.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio (e outros radionuclídeos, se produtos comestíveis forem cultivados).
<i>Escala de Aplicação</i>	Realizável em larga escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma (possivelmente absorção pela raiz se o alimento for produzido).
<i>Via de Exposição</i>	Principalmente exposição externa a partir do solo contaminado. Possivelmente também a dose proveniente do consumo dos produtos contaminados de hortas.
<i>Momento de Aplicação</i>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida, porém as doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Pode ainda após uma década restar uma fração significativa da dose de 70 anos. Já que o procedimento teria frequentemente e aproximadamente o mesmo efeito na taxa de dose após uma semana como após dois anos, um grupo de equipamento pode tratar uma grande área.
<i>Restrições técnicas</i>	A textura do solo (pedras grandes), neve e a geada podem ser restrições. A aplicação de fertilizantes pode ser necessária. Profundidade do solo > 0,3 m é requerida para a aragem superficial. Os contaminantes serão trazidos um pouco mais próximos do nível da água subterrânea.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Redução da contribuição da taxa de dose por aprox. 50-75%. Redução da dose interna: toda a contaminação nos 10 cm mais superficiais pode ser reduzida por 80-90%. A redução da dose de ingestão depende, por ex., do sistema de raiz dos produtos.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo e condições do solo (solo 'solto' será mais difícil de tratar satisfatoriamente). Uniformidade da distribuição vertical do céσιο. Tempo (migração descendente do céσιο no solo). Possivelmente, a ressuspensão do contaminante poderia ter um impacto na eficácia se o método for realizado muito cedo.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Arado (prontamente disponível em áreas europeias, onde a aragem é possível); Trator.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Combustível: aproximadamente 7 L por ha.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Pode ser realizada por trabalhadores/agricultores que estejam familiarizados com a aragem, porém devem ser instruídos cuidadosamente sobre o objetivo da medida. Aprox. 1,2 h por ha <sup>-1</sup> (um operador).
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Habilidades do operador. Tipo de solo e condições (por ex., umidade, estação), vegetação, topografia, custos de mão de obra.

<i>Precauções de Segurança</i>	Particularmente, logo após o acidente e sob condições muito empoeiradas, proteção respiratória e roupas de proteção podem ser recomendadas.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento sobre uma grande área. Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Se produtos comestíveis forem cultivados na área, o método pode reduzir a dose de ingestão, dependendo do sistema de raiz do produto.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada. Influenciado por medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação de contaminantes e a contaminação da pele/ roupas, onde forem requeridas.
<i>Outros Impactos</i>	O procedimento traz contaminação próximo à água subterrânea. O céσιο, entretanto, normalmente se ligará muito fortemente ao solo. Restrição futura na utilização do solo: não deve ser capinado profundamente. Complica severamente a subsequente remoção da contaminação.
<i>Experiência Prática</i>	Testado amplamente no CIS e numa escala limitada na Dinamarca.
<i>Referências</i>	A6, H2, A4, R4, V1, A3.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 13</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas amplas de solo incluindo vegetação</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Remoção da relva (capina em áreas de parques).</b>
<i>Superfície</i>	Áreas de solo incluindo vegetação.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Quase invariavelmente, a deposição de céσιο no solo permanece em poucos centímetros da camada superior por muitos anos - isto é certamente o caso em argilas e terras marrons. A espectrometria gama em amostras de perfis do solo mostra a profundidade da camada de solo que deveria ser removida para maximizar a redução da dose com impacto mínimo na fertilidade do solo. A remoção pode ser realizada utilizando um cortador de grama (equipamento padrão em casas de vegetação), que raspa uma camada fina da superfície do solo (poucos cm), em rolos ou blocos.
<i>Alvo</i>	Parques com camada orgânica madura, as quais não tenham sido capinadas desde a contaminação. A cobertura deve ser homogênea.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio (e outros radionuclídeos, se produtos comestíveis forem cultivados).
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada numa grande escala, onde o equipamento estiver ou puder ficar disponível.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma (possivelmente absorção pela raiz se o alimento for produzido).
<i>Via de Exposição</i>	Principalmente exposição externa a partir de uma área contaminada. Possivelmente também a dose proveniente do consumo de produtos alimentares, se produzidos na área.
<i>Momento de Aplicação</i>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, logo que a situação radiológica esteja esclarecida, porém as doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Pode ainda após uma década restar uma fração significativa da dose de 70 anos. Já que o procedimento teria frequentemente e aproximadamente o mesmo efeito na taxa de dose após uma semana como após dois anos, um grupo de equipamento pode tratar uma grande área.
<i>Restrições técnicas</i>	O equipamento de corte de grama é muito sensível a pedras e rochas. Em alguns casos também, a geada pode ser uma restrição. Sob condições extremas, também a inclinação da área (em grande parte, dependente da habilidade do operador).
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Redução da contaminação em cerca de 65-90%.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Otimização da espessura da camada de solo removida (habilidades do operador). Regularidade da superfície da terra. Uniformidade da distribuição vertical do céσιο. Textura do solo (o método será somente eficiente para solos com horizonte orgânico maduro). Tempo (migração descendente do céσιο no solo). Possivelmente, a ressuspensão do contaminante poderia ter um impacto na eficácia se o método for realizado muito cedo.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Cortadores de grama (cortadores de grama que requerem um trator também existem).
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Aproximadamente 20 L / ha de combustível (excl. o transporte de rejeitos).

<i>Habilidades Requeridas</i>	Trabalhadores de hortos ou agricultores que estejam familiarizados com as máquinas de tratamento de solo e poderiam operar o colhedor de grama após algumas poucas horas de instrução/ prática. Cuidado deve ser tomado a fim de remover o solo na profundidade ótima. Tipicamente, um operador gastaria cerca de 50 h por ha
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Principalmente as habilidades da mão de obra, a profundidade da camada, a vegetação a ser removida, o tamanho da máquina, custos da mão de obra. O tamanho da área influencia o custo por m <sup>2</sup> .
<i>Precauções de Segurança</i>	Logo após o acidente e sob condições muito empoeiradas, proteção respiratória e roupas de proteção podem ser recomendadas.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	A remoção de 2 cm da camada superior do solo gera cerca de 30 kg por m <sup>2</sup> de rejeito. Contaminação de aprox. 50 Bq m <sup>-3</sup> por Bq m <sup>-2</sup> .
<i>Rejeito: Tipo</i>	Camada superior do solo.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. O método pode reduzir a contaminação de alimentos produzidos na área correspondendo ao DF.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada. Influenciado por medidas para proteger operadores contra, por ex., inalação e contaminação da pele/ roupas, onde for necessário.
<i>Outros Impactos</i>	Risco de erosão do solo. Possível perda parcial da fertilidade do solo, embora minimizada.
<i>Experiência Prática</i>	Testado em campinas relativamente grandes no CIS.
<i>Referências</i>	A6, A4, R4, H2.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 14</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas de solo incluindo vegetação</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Corte de grama.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas de solo incluindo vegetação.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Em situações onde uma grande fração da contaminação foi depositada preferencialmente numa cobertura da grama, como geralmente se espera em casos de deposição seca em gramados, o corte da grama e a remoção da grama cortada podem impedir que muita contaminação alcance o solo subjacente. A altura do corte da grama deve ser a mais baixa possível.
<i>Alvo</i>	Áreas cobertas por grama em, por ex., jardins e parques.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio (e outros radionuclídeos, se produtos comestíveis forem cultivados).
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em larga escala, onde o equipamento estiver ou puder ficar disponível em curto prazo.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma (possivelmente absorção pela raiz se houver produção de alimento).
<i>Via de Exposição</i>	Principalmente exposição externa a partir de terra contaminada. Mais tarde, possivelmente também a dose proveniente do consumo de produtos alimentares.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser realizada tão cedo quanto possível, assim que a situação radiológica estiver esclarecida; As doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Já que a transferência natural da contaminação da grama para o solo possui uma meia-vida de apenas poucas semanas (dependendo muito da ocorrência de chuvas), o corte de grama deve ser realizado logo após a contaminação (antes da primeira chuva pesada).
<i>Restrições técnicas</i>	O equipamento de corte de grama é muito sensível a pedras e rochas.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Redução da contaminação por aprox. 50-90%, para o caso de deposição seca.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Chuva durante a deposição. Tempo e quantidade de chuva após a ocorrência da contaminação (migração descendente do césio no solo). A extensão na qual o solo é coberto por grama e a altura da grama no momento da deposição. A altura do corte da grama. Regularidade da superfície do solo. Cuidado a ser tomado a fim de remover a grama cortada.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Aparador de gramado com coletor. Ancinhos para coletar rejeitos, se o aparador do gramado não estiver equipado com um coletor.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	25 L por ha de óleo (assumindo que o aparador de gramado é movido a óleo, e excluindo o transporte do rejeito gerado).
<i>Habilidades Requeridas</i>	Poderia ser realizada por habitantes do local ou trabalhadores municipais, sendo necessário apenas fornecer pouca instrução. Tipicamente algumas 15h por há. Aprox. 20-40h por ha deveriam ser adicionadas se a grama for coletada manualmente através de ancinhos.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Custo de trabalho individual. Tipo do equipamento (necessidade de utilização de ancinhos). O tamanho da área influencia o custo por m <sup>2</sup> .
<i>Precauções de Segurança</i>	Sob condições muito secas, proteção respiratória e roupas de proteção podem ser recomendadas.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Depende do comprimento e da densidade da cobertura da grama, e da altura do corte. Talvez 1m <sup>3</sup> por ha. A contaminação seria então de aprox. 10.000 Bq m <sup>-3</sup> por Bq m <sup>-2</sup> .
<i>Rejeito: Tipo</i>	Grama e outras vegetações rasteiras.
<i>Fatores que</i>	Densidade da população e padrão de comportamento.

<i>Influenciam a Dose Evitada</i>	Idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. O método pode reduzir a contaminação de alimentos produzidos na área correspondendo ao DF.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada. Sem uma proteção especial, a taxa de dose em um motorista de caminhão de rejeitos numa área contaminada por 1 MBq por m <sup>2</sup> de Cs-137 pode ser de até cerca de 50 µSv por hora (comparado com aprox. 12 µSv por dia tipicamente recebido por pessoas que moram naquela área). Influenciada por medidas tomadas a fim de proteger operadores contra, por ex., inalação e contaminação da pele/ roupas, caso requeridas.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Testado numa pequena escala na Europa.
<i>Referências</i>	A6, R4, A5, H2, M1, A3.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 15</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas contendo árvores e arbustos</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Poda ou remoção de árvores e de arbustos.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas de solo incluindo vegetação.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	<p>Se a deposição ocorrer sem chuva, árvores e arbustos (particularmente se estiverem com folhas) podem receber relativamente altos níveis de contaminação. A remoção (parcial) de árvores/ arbustos de jardins pode, portanto, reduzir significativamente a taxa de dose nos moradores imediatamente após a contaminação ter ocorrido.</p> <p>Entretanto, a contaminação de árvores/ arbustos que estejam com folhas durante a deposição vai (particularmente em espécies decíduas), no primeiro ano diminuir em diversas ordens de grandeza através de processos naturais (lavagem por chuva/ queda de folhas).</p> <p>Através da absorção pela raiz, espera-se que o nível cresça lentamente após isso (se o solo não for tratado), até um máximo correspondente ao Fator de Transferência.</p> <p>Após 10-20 anos restarão na árvore, poucos % da contaminação inicial.</p>
<i>Alvo</i>	Áreas contaminadas de jardins ou de parques com árvores, arbustos e folhagens.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em larga escala, onde o equipamento estiver ou puder ficar disponível.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa a partir de árvores e arbustos contaminados. Possivelmente, exposição a partir da ingestão de, por ex., maçãs e frutos silvestres.
<i>Momento de Aplicação</i>	<p>Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida;</p> <p>as doses dos trabalhadores devem ser consideradas.</p> <p>A poda ou a remoção deveria ser realizada dentro de semanas após a contaminação (antes da primeira queda das folhas).</p>
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Redução da contaminação, em princípio proporcional à fração da árvore/ arbusto removidos.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	<p>Grau de poda ou remoção.</p> <p>As folhas são as partes mais importantes a serem removidas.</p>
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Depende do grau desejado de remoção, por ex., moto-serras, cortadores, machados, tesouras de poda.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Combustível para o transporte de rejeitos; energia para as moto-serras. Cordas, escadas para árvores altas.
<i>Habilidades Requeridas</i>	<p>Pessoal qualificado (por ex., trabalhadores silvicultores, cortadores de árvores ou jardineiros) com experiência em derrubada de árvores seria preferível, embora o procedimento possa, em princípio, também ser realizado por habitantes do local.</p> <p>O tempo de operação é variável: 10 a 50 h por 500 m<sup>2</sup> de área ajardinadas, incluindo o carregamento de rejeitos pelo caminhão de transporte, mas excluindo o transporte e o tratamento de rejeitos.</p>



<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Habilidade e custo da mão de obra; estação do ano; altura da vegetação (necessário para a escada), tipo de vegetação a ser removida, grau de remoção, tipo de equipamento aplicado. O tamanho da área influencia o custo por m <sup>2</sup> .
<i>Precauções de Segurança</i>	Proteção respiratória e roupas de proteção recomendadas. Capacetes de segurança. Para árvores altas: cordas de salvamento.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Altamente variável - depende da estação, da densidade e do tipo de vegetação e da extensão da poda ou da derrubada. Normalmente são gerados grandes volumes.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Árvores, arbustos e/ou seus ramos.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Se as árvores/ arbustos estão ou não com folhas na contaminação. Tempo e quantidade de precipitação durante/ desde a contaminação. Área da janela (muito da radiação proveniente do material depositado nas árvores atravessa janelas finas preferencialmente do que paredes espessas de tijolo). Árvores e arbustos que não são decíduos são os mais importantes para serem tratados, já que a contaminação neles pode contribuir para a dose externa sobre um período mais longo. Entretanto, eles não produzem frutos comestíveis. Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada. Influenciada por medidas tomadas a fim de proteger operadores contra, por ex., inalação e contaminação da pele/ roupas.
<i>Outros Impactos</i>	Possível impacto adverso na biodiversidade.
<i>Experiência Prática</i>	Testado numa pequena escala na Europa após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	A6, A5, R4, S1, A3.
<i>Comentários</i>	Até mesmo se a dose evitada devido à operação for limitada, pode ser necessário remover alguma vegetação num jardim a fim de possibilitar a remoção do solo subsequente.

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 16</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Paredes</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Lavagem/Limpeza de superfícies</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Lavagem de paredes com água de alta pressão.</b>
<b>Superfície</b>	Paredes de habitações.
<b>Objetivo</b>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<b>Descrição da Contramedida</b>	Utilizando um equipamento de lavagem com pressão, a água pode ser aplicada numa parede a uma pressão de cerca de 150 bar. Isto afrouxará a contaminação da parede e a removerá. Um fluxo contínuo de água deveria ser aplicado na parede a fim de transportar a contaminação ao solo. A lavagem deve começar no topo da parede.
<b>Alvo</b>	Paredes externas (por ex., de tijolo, de concreto ou de arenito) altamente contaminadas de prédios residenciais ou industriais. Paredes de madeira podem, em alguns casos, também ser tratadas neste caso, porém deve ser demonstrado que a água não penetrará na parede.
<b>Radionuclídeos</b>	Césio.
<b>Escala de Aplicação</b>	Poderia ser realizada em áreas selecionadas, densamente povoadas.
<b>Via de Contaminação</b>	Nenhuma. O rejeito é difícil de ser coletado e será transferido para outras superfícies ou para o sistema de drenagem urbana.
<b>Via de Exposição</b>	Exposição externa.
<b>Momento de Aplicação</b>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida; as doses dos trabalhadores devem ser consideradas; O efeito imediato (DF) diminuirá com o tempo da aplicação.
<b>Restrições técnicas</b>	Geadas (pode requerer água aquecida). As paredes devem ser resistentes à água.
<b>Eficácia da Contramedida</b>	Redução da contaminação: 35-80%. Imediatamente após o evento da contaminação, o efeito é melhor. O uso de água quente e de detergente ajudam na descontaminação. Até mesmo após uma década, 50-75% da contaminação pode ser removida.
<b>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</b>	Tipo de aerossol (tamanho, solubilidade). Quantidade de água, tempo utilizado e pressão. A temperatura da água (60-80°C) e adição de detergente aumentarão o efeito. O material da parede geralmente possui pouca influência.
<b>Necessidade de Equipamento Específico</b>	Mangueira, lavador de pressão móvel (peso típico de aprox. 80kg) com bocal de turbo.
<b>Materiais de Consumo Requeridos</b>	Suprimento de energia: tipicamente, 400 V e 12 A; Se for necessário gerador movido a óleo, cerca de 4 L de combustível por hora. Suprimento de água (a água pode ser bombeada de um lago ou de hidrante não estiverem disponíveis) – 20 L por m <sup>2</sup> . Andaimes ou plataformas móveis para prédios altos.

<i>Habilidades Requeridas</i>	A experiência de especialistas provenientes de firmas de descontaminação pode ser explorada. O corpo de bombeiros, os trabalhadores da construção civil e a defesa civil podem, com uma instrução própria, realizar o trabalho. A lavagem com pressão usa aprox. 1-2 min por m <sup>2</sup> (com mangueira de bombeiro: 0,1-0,2 min por m <sup>2</sup> ); mais o tempo variável para o estabelecimento de andaimes/ transporte.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Distâncias envolvidas; Necessidade de andaimes/ plataformas móveis. Habilidades do operador. Custos da mão de obra. O tamanho da área influencia o custo por m <sup>2</sup> .
<i>Precauções de Segurança</i>	Para prédios altos: corda de salvamento e capacetes de segurança. Roupas de segurança à prova de água e óculos de segurança deveriam ser utilizados. A água reterá muito da poeira.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Gera cerca de 20 L por m <sup>2</sup> de rejeito líquido, com aprox. 0,4 kg por m <sup>2</sup> de rejeito sólido contendo quase toda a contaminação. Nível de contaminação de rejeito sólido: aprox. 4.000 Bq m <sup>-3</sup> por Bq m <sup>-2</sup> . O rejeito é praticamente impossível de ser coletado.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Rejeitos líquido (água de lavagem contaminada) e sólido (tijolo, concreto, arenito e/ou madeira).
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência na aplicação do procedimento, cuidado tomado para lavar a contaminação no solo e para não apenas translocá-la da parede. A parte inferior da parede deveria ser particularmente bem limpa, uma vez que ela é a mais próxima a quaisquer pessoas localizadas fora e perto do prédio. As superfícies horizontais abaixo da parede deveriam ser idealmente tratadas depois. Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada (possivelmente até mesmo mais, dependendo da altura do prédio, e do layout da área, etc.). Influenciada pela proteção dos trabalhadores com roupas de segurança à prova de água.
<i>Outros Impactos</i>	Se não drenar, a água pode danificar as construções inferiores. Pode ser necessário reparo do acabamento das paredes.
<i>Experiência Prática</i>	Testado numa escala realística em paredes selecionadas no CIS e na Europa, após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	A6, R2, A5, R4, H2.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 17</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Paredes</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aplicação de jatos de areia (<i>Sandblasting</i>) em paredes</b>
<i>Superfície</i>	Paredes de habitações.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	A aplicação de jatos de areia em paredes removerá uma camada fina da superfície, junto com a contaminação. A fim de eliminar o risco da translocação do contaminante na parede, a aplicação deve começar no topo da parede. A aplicação úmida é recomendada, embora a aplicação seca seja geralmente quase tão eficiente porém torna difícil de se controlar a ressuspensão com o processo seco.
<i>Alvo</i>	Paredes externas altamente contaminadas de prédios residenciais ou industriais.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Poderia ser realizada em áreas selecionadas, densamente povoadas.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma. Ocorre translocação da contaminação e pode haver dispersão de poeiras contaminadas.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa.
<i>Momento de Aplicação</i>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida; as doses dos trabalhadores devem ser consideradas. A eficácia da limpeza diminui com o tempo decorrido desde a ocorrência da contaminação.
<i>Restrições técnicas</i>	Geada (pode requerer água aquecida). As paredes devem ser resistentes à água.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Redução da contaminação esperada por 75-85%.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Habilidade dos operadores. Quantidade de água e de areia (tempo) utilizados por m <sup>2</sup> e pressão. Tipo de areia aplicada (de preferência, areia-quartzo (0,5-2mm). O material da parede geralmente possui pouca influência (por ex., argila, concreto, rocha, parede emplastrada, metal).
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Mangueira, lavador de pressão móvel (peso típico de aprox. 80kg), dispositivo de arenação que injete a areia dentro da corrente de água.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Suprimento de energia: tipicamente 400 V a 12 A. (um gerador móvel movido a combustível pode ser aplicado, caso a energia não esteja disponível: aprox. 4 L de combustível por hora). Combustível para o transporte do equipamento. Suprimento de água: 50 L por m <sup>2</sup> (a água pode ser bombeada de um lago se a válvula/ hidrante não estiverem disponíveis). Areia: Aprox. 2kg por m <sup>2</sup> Andaimos ou plataformas móveis para prédios altos.
<i>Habilidades Requeridas</i>	A experiência de especialistas provenientes de firmas de descontaminação pode ser explorada. O corpo de bombeiros, os trabalhadores da construção civil e a defesa civil podem, com uma instrução própria, realizar o trabalho. Aprox. 3-4 min por m <sup>2</sup> mais o tempo variável para o estabelecimento de andaimos/ transporte.

<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Distâncias envolvidas; Necessidade de andaimes/ plataformas móveis. Habilidade do operador. Custos da mão de obra. A parede pode requerer tratamento subsequente da superfície.
<i>Precauções de Segurança</i>	Para prédios altos: corda de salvamento e capacetes de segurança. Roupas de segurança à prova de água e óculos de segurança deveriam ser utilizados. O método de arenação úmida produzirá relativamente pouca poeira, porém a proteção respiratória é ainda requerida.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Gera cerca de 3 kg por m <sup>2</sup> de rejeito sólido (contendo quase toda a contaminação) em aprox. 50 L por m <sup>2</sup> de água, que é impossível de coletar.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Rejeitos líquido (água de lavagem contaminada) e sólido (tijolo, concreto, arenito e/ou madeira).
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência na aplicação do procedimento; Cuidado tomado para mover a contaminação no solo e para não apenas translocá-la na parede. A superfície horizontal abaixo da parede deveria ser idealmente tratada depois. Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada (possivelmente até mesmo mais, dependendo da altura do prédio, da paisagem etc.). Influenciada pela proteção dos trabalhadores com roupas de segurança à prova de água.
<i>Outros Impactos</i>	Se não drenar, a água proveniente da arenação úmida pode danificar as construções subterrâneas.
<i>Experiência Prática</i>	Testado numa escala realística em paredes selecionadas no CIS e na Europa, após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	A6, R2, A5, R4, H1.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 18</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Paredes</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Lavagem/Limpeza de superfícies</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Tratamento de paredes com amônia.</b>
<i>Superfície</i>	Paredes de habitações.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Uma solução de nitrato de amônio em água (0,1M) deve ser preparada em um recipiente. Utilizando uma bomba e uma mangueira, a solução é borrifada na parede, a baixa pressão. O íon de amônia troca com os íons de céσιο, e portanto reduz a contaminação na parede. Um fluxo contínuo de água deve ser aplicado na parede a fim de transportar a contaminação ao chão. A lavagem deve começar no topo da parede. A parede é subsequentemente lavada com água limpa para minimizar a corrosão.
<i>Alvo</i>	Paredes externas altamente contaminadas de prédios residenciais ou industriais.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Poderia ser realizada em áreas selecionadas, densamente povoadas.
<i>Via de Contaminação</i>	Pode ocorrer translocação da contaminação.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa.
<i>Momento de Aplicação</i>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida; As doses dos trabalhadores devem ser consideradas. O efeito imediato (DF) diminuirá com o tempo decorrido antes da aplicação.
<i>Restrições técnicas</i>	Geada (pode requerer água quente). As paredes devem ser resistentes a água.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Redução da contaminação por tipicamente aprox. 35-50% imediatamente após a contaminação, e 10-25% alguns anos depois.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tempo de borrifamento. Tipo de aerossol do contaminante (forma química do céσιο). habilidade dos operadores. Melhor efeito em tijolos aquecidos em alta temperatura (>1.000°C).
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Mangueira de água, bomba; recipiente para misturar a solução.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Nitrato de amônio - Aprox. 8 g de nitrato de amônio por L de solução. Suprimento de água (a água pode ser bombeada de uma fonte natural se a válvula/ hidrante não estiverem disponíveis) – Aprox. 6 L por m <sup>2</sup> . Suprimento de energia (gerador móvel movido a óleo pode ser utilizado se a energia não estiver disponível). Óleo para o transporte de veículos. Andaimes ou plataformas móveis para prédios altos. Recipiente para misturar a solução.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Necessita pouca instrução e pode ser realizada, por ex., pela defesa civil, por trabalhadores da construção civil ou pelo corpo de bombeiros. Tempo de operação: Aprox. 5 min por m <sup>2</sup> mais o tempo variável para o estabelecimento de andaimes/ transporte.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Distâncias envolvidas. Necessidade de andaimes/ plataformas móveis. Habilidade do operador. Custos da mão de obra.

<i>Precauções de Segurança</i>	Para prédios altos: corda de salvamento e capacetes de segurança. Roupas de segurança à prova de água é recomendada.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Gera cerca de 6 L por m <sup>2</sup> de rejeito líquido. O rejeito é impossível de ser coletado.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Rejeito líquido (água de lavagem contaminada).
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência na aplicação do procedimento, Cuidado tomado para lavar a contaminação no solo e para não apenas translocá-la na parede. A parte de baixo da parede deveria ser particularmente bem limpa, uma vez que ela é a mais próxima a quaisquer pessoas localizadas fora e perto do prédio. A superfície horizontal abaixo da parede deveria ser idealmente tratada depois. Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada (possivelmente até mesmo mais, dependendo da altura do prédio, tipo de área, etc.). Influenciada pela proteção dos trabalhadores com roupas de segurança à prova de água.
<i>Outros Impactos</i>	Se não drenar, a água pode danificar as construções inferiores. A amônia/ nitrato podem alcançar a água subterrânea. O nitrato de amônio pode corroer superfícies de aço.
<i>Experiência Prática</i>	Testado numa escala realística em paredes selecionadas no CIS e na Europa, após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	A6, R2, A5, H2, S2.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 19</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Paredes (casas de madeira)</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Abrasão mecânica de paredes de madeira.</b>
<i>Superfície</i>	Paredes de habitações.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	O nível de contaminação numa parede de madeira (pintada) pode ser reduzido por abrasão, utilizando lixadeira manual elétrica. Este procedimento abrasivo, que é comumente utilizado para limpar superfícies antes de pintá-las, remove uma camada fina da superfície (uns poucos mm) e a contaminação concomitante.
<i>Alvo</i>	Paredes externas altamente contaminadas de prédios residenciais ou industriais.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Poderia ser realizada em áreas selecionadas, densamente povoadas.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa.
<i>Momento de Aplicação</i>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida; as doses dos trabalhadores devem ser consideradas. O efeito imediato (DF) pode diminuir com o tempo de aplicação, já que a migração horizontal do contaminante pode ocorrer na parede. É improvável, entretanto, que esta diminuição seja significativa em paredes pintadas.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Redução da contaminação por cerca de 35-60%.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tamanho do aerossol do contaminante (grandes partículas podem ser mais facilmente removidas). Habilidade dos operador e grau de abrasão. Permeabilidade do material da parede (tempo).
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Lixadeira manual, com discos de lixa ou lã de aço (polidora).
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Lã de aço ou lixa. Suprimento de energia (o gerador móvel movido a combustível pode ser aplicado se a energia não estiver disponível). Andaimes ou plataformas móveis para prédios altos.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Pode ser realizada, por ex., pela defesa civil, por trabalhadores de construção ou pelo corpo de bombeiros. É necessária muito pouca instrução. Tempo de operação: Aprox. 0,5 h por m <sup>2</sup> , mais o tempo variável para a colocação de andaimes/ transporte.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Distâncias envolvidas. Necessidade de andaimes/ plataformas móveis. Habilidade do operador. Custos da mão de obra.
<i>Precauções de Segurança</i>	Para prédios altos: corda de salvamento e capacetes de segurança. A proteção respiratória é essencial.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Aprox. 100 g por m <sup>2</sup> , que é impossível de ser coletado.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Camada superficial de paredes, madeira.



<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Idealmente, a superfície horizontal abaixo da parede deveria ser tratada depois. Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada (possivelmente até mesmo mais, dependendo da altura do prédio, do tipo de área, etc.). Influenciada pela proteção respiratória dos trabalhadores.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Testado numa escala realística em paredes selecionadas no CIS e na Europa, após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	A6, H2, R4.
<i>Comentários</i>	Pode ser necessário que os pregos sejam extraídos antes da operação. O recobrimento da superfície (por ex., pintura) é geralmente requerido após a operação (custos extras variáveis).

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 20</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Telhados</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Lavagem/Limpeza de superfícies</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Lavagem de telhados. 1 - água a alta pressão.</b>
<i>Superfície</i>	Telhados de habitações.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Conamedida</i>	Lavagem com equipamento de lavagem com pressão (~150 bar) para remover contaminação. Um fluxo contínuo de água deve ser aplicado no telhado a fim de transportar a contaminação aos drenos. A lavagem deve começar no topo do telhado. Alternativamente, a lavagem com mangueira de incêndio a uma pressão do hidrante pode ser usada, com efeito moderadamente inferior.
<i>Alvo</i>	Telhados contaminados de prédios residenciais ou industriais.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Poderia ser realizada em áreas selecionadas, densamente povoadas.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa.
<i>Momento de Aplicação</i>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida; as doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Pode ainda após uma década restar uma fração significativa da dose de 70 anos, dependendo do material do telhado e partes removidas.
<i>Restrições técnicas</i>	Geadas (pode requerer água aquecida). A construção do telhado deve resistir à água em alta pressão.
<i>Eficácia da Conamedida</i>	Redução esperada da contaminação por 35-80%, dependendo da temperatura da água. Imediatamente após a contaminação, o efeito é geralmente o melhor. Utilizando água quente e detergente, o efeito é melhorado consideravelmente. Até mesmo após uma década, isto reduzirá a contaminação por 50-75% (o valor mais baixo para telhados de ardósia, de argila e de concreto, o valor mais alto para ardósia tratada com silício, e possivelmente até mesmo mais alto para alumínio/ aço).
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo de aerossol do contaminante (tamanho, solubilidade). habilidade do operador. Material do telhado. Quantidade de água/ tempo utilizados e pressão. A temperatura aumentada da água (60-80°C) e a adição detergente aumentarão o efeito. Conforme o tempo passa, alguma contaminação se tornará mais firmemente fixada ao material do telhado. Se uma camada de musgos/ algas na superfície cobrir o telhado no momento da deposição, quase toda a contaminação pode ser removível.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Mangueira; lavador de pressão móvel (peso típico de aprox. 80kg) com bocal turbo (ou equipamento de lavagem com mangueira de incêndio). Custos variáveis para andaimes/ plataformas de acordo com a necessidade.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Suprimento de energia: tipicamente 400 V a 12 A (um gerador móvel movido a combustível pode ser aplicado, caso a energia não esteja disponível : aprox. 4 L de combustível por hora). Combustível para o transporte de veículos. Suprimento de água (a água pode ser bombeada de um lago se a válvula/ hidrante não estiverem disponíveis) - Aprox. 20 L por m <sup>2</sup> . Andaimes ou plataformas móveis.
<i>Habilidades Requeridas</i>	A experiência de especialistas provenientes de firmas de descontaminação pode ser explorada.

	<p>O corpo de bombeiros, os trabalhadores de construção civil e o corpo da defesa civil podem, com instrução, realizar o trabalho.</p> <p>Tempo de operação: aprox. 1-2 min por m<sup>2</sup> (com mangueira de bombeiro: 0,1-0,2 min por m<sup>2</sup>) mais o tempo variável para o estabelecimento de andaimes/ transporte.</p>
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	<p>Distâncias envolvidas.</p> <p>Tipo e tamanho dos andaimes/ plataformas móveis.</p> <p>Habilidade do operador.</p> <p>Custos da mão de obra.</p>
<i>Precauções de Segurança</i>	<p>Corda de salvamento.</p> <p>Capacetes de segurança.</p> <p>Roupas de segurança à prova de água e óculos de segurança deveriam ser utilizados.</p> <p>A água reterá muito da poeira.</p> <p>Não deveria ser realizada como autoajuda, devido ao risco de queda do telhado.</p>
<i>Rejeito: Quantidade</i>	<p>Gera cerca de 20 L por m<sup>2</sup> de rejeito líquido, com aprox. 0,2 kg por m<sup>2</sup> de rejeito sólido contendo quase toda a contaminação.</p> <p>Nível de contaminação do rejeito sólido: aprox. 7.000 Bq m<sup>-3</sup> por Bq m<sup>-2</sup>.</p>
<i>Rejeito: Tipo</i>	<p>Rejeitos líquido (água de lavagem contaminada e sólido (ardósia, argila, concreto, ferro e/ou aço).</p> <p>Após a filtragem num filtro simples, a água pode ser descartada.</p>
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	<p>Consistência na aplicação do procedimento.</p> <p>Cuidado tomado para lavar a contaminação para a calha do telhado e para não apenas translocá-la no telhado.</p> <p>A superfície horizontal abaixo do telhado deveria ser idealmente tratada depois, caso não haja calha no telhado.</p> <p>Densidade da população, idade das pessoas expostas.</p> <p>Cuidado especial deve ser tomado para limpar as calhas dos telhados e para drenar os canos.</p> <p>Prédios industriais frequentemente possuem construções leves de telhado (não protegendo bem), e a pequena inclinação frequente do telhado pode fornecer um nível relativamente alto de contaminação.</p>
<i>Dose Adicional</i>	<p>A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada (possivelmente até mesmo mais, dependendo da altura do telhado, do tipo de área, etc.).</p> <p>Influenciada pela proteção dos trabalhadores com roupas de segurança à prova de água.</p>
<i>Outros Impactos</i>	<p>Alguns tipos de telhados podem requerer tratamento subsequente para garantir a impermeabilidade à água.</p>
<i>Experiência Prática</i>	<p>Testado numa escala realística em paredes selecionadas no CIS e na Europa, após o acidente de Chernobyl.</p>
<i>Referências</i>	<p>A6, R2, A5, R4, H2, A3.</p>
<i>Comentários</i>	<p>Cuidado deve ser tomado a fim de não bloquear os drenos com musgos etc.</p>

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 21</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Telhados</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Lavagem/Limpeza de superfícies</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Limpeza de telhados. 2 - com dispositivo de limpeza.</b>
<i>Superfície</i>	Telhados de habitações.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contraindicada</i>	Escova rotatória comercial movida a ar comprimido a 700 L por min (água em pressão comum). A limpeza é realizada num sistema fechado de 'caixa' (protegido). O dispositivo é montado numa barra extensível que permite a operação a partir do topo do telhado.
<i>Alvo</i>	Telhados contaminados de prédios residenciais ou industriais.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada numa grande escala, onde o equipamento estiver disponível.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deveria ser realizada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida As doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Pode ainda após uma década restar uma fração significativa da dose de 70 anos, dependendo do material e condições de manutenção do telhado.
<i>Restrições técnicas</i>	Geadas (pode precisar aquecer a água).
<i>Eficácia da Contraindicada</i>	A redução da contaminação varia de 50-85%, dependendo da temperatura da água. O efeito geralmente é melhor imediatamente após a contaminação. Utilizando água quente e detergente, o efeito melhora consideravelmente. Até mesmo após uma década, pode ainda reduzir a contaminação por 50 a 75%, sendo os valores mais baixos para telhados de ardósia, de argila e de concreto. O valor mais alto são observados para ardósia tratada com silício, e possivelmente até mesmo mais alto para alumínio/aço.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo de aerossol (tamanho, solubilidade). habilidade do operador. Material do telhado. Quantidade de água, tempo utilizados e pressão. Aumentar a temperatura da água (60-80°C) aumentará o efeito. Conforme o tempo passa, alguma contaminação se tornará mais firmemente fixada ao material do telhado. Se uma camada de musgos/ algas cobrir a superfície do telhado no momento da deposição, quase toda a contaminação pode ser removida.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Dispositivo de limpeza de telhados inclusive o compressor para gerar ar pressurizado. Custos variáveis para andaimes e/ou plataformas.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Suprimento de energia (se usar gerador móvel, utiliza cerca de 5 L de combustível por h). Suprimento de água (a água pode ser bombeada de uma fonte natural de água ou de um hidrante): 15 L de água por m <sup>2</sup> de telhado Andaimes ou plataformas móveis para a operação a partir do telhado.

<i>Habilidades Requeridas</i>	Pode ser realizada por uma pessoa, porém é mais fácil se forem dois trabalhadores. Não necessita qualificação, sendo necessário fornecer pouca instrução. Os trabalhadores poderiam ser, por ex., da defesa civil, trabalhadores de construção civil ou do corpo de bombeiros. Estima-se aprox. 4 a 8 minutos por m <sup>2</sup> , dependendo do número de operadores (1 ou 2), excluindo a colocação do andaime.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Distâncias envolvidas. Tipo e tamanho dos andaimes/ plataformas móveis. Habilidade do operador. Custos da mão de obra.
<i>Precauções de Segurança</i>	Corda de salvamento. Capacetes de segurança. Recomenda-se o uso de roupas de segurança à prova de água. Já que a limpeza é realizada em um meio úmido fechado, a inalação de poeira é insignificante. Não deve ser realizada como autoajuda, por causa do risco de queda do telhado.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Gera cerca de 15 L de rejeito líquido por m <sup>2</sup> de telhado limpo, com aprox. 0,2 kg por m <sup>2</sup> de rejeito sólido contendo quase toda a contaminação. Nível de contaminação do rejeito sólido: aprox. 7.000 Bq m <sup>-3</sup> por Bq m <sup>-2</sup> de telhado. O rejeito pode ser tóxico, no caso de telhas de amianto.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Rejeitos líquido (água de lavagem contaminada) Rejeito sólido (material da telha). Após a filtragem num filtro simples, a água pode ser reciclada.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência na aplicação do procedimento em uma área grande. Cuidado tomado para lavar a contaminação para a calha do telhado e para não apenas translocá-la no telhado. Cuidado especial deve ser tomado para limpar as calhas dos telhados e para drenar bem os canos. A superfície horizontal abaixo do telhado deve ser tratada, caso não haja calha no telhado. Densidade da população, idade das pessoas expostas. Prédios industriais frequentemente possuem construções leves de telhado com pequena inclinação, o que pode levar a um nível relativamente alto de contaminação.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada (possivelmente até mesmo mais, dependendo da altura do telhado, do tipo de área, etc.). A dose depende do uso de roupas de segurança à prova de água pelos trabalhadores.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Testado numa escala realística em paredes selecionadas no CIS e na Europa, após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	A6, R2, A5, R4, R5, H2.
<i>Comentários</i>	Deve ser tomado cuidado para não bloquear os drenos com musgos etc.

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 22</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Telhados</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Troca de telhas.</b>
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	A cobertura contaminada do telhado é substituída com telhas novas ou limpas. Esta contramedida é cara, e a mão de obra intensa, e deve ser considerada apenas como último recurso.
<i>Alvo</i>	Telhados contaminados de prédios residenciais ou industriais. Telhas de argila aquecidas em baixas temperaturas (< aprox. 800°) podem ser consideradas para aplicação do procedimento, já que elas seriam particularmente difíceis de serem descontaminadas.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio e outros emissores gama.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em telhados altamente contaminados em áreas residenciais ou industriais, se houver telhas disponíveis para a troca.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa.
<i>Momento de Aplicação</i>	Geralmente deveria ser realizada tão cedo quanto possível, assim que a situação radiológica esteja esclarecida; As doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Após uma década, pode ainda restar uma fração significativa da dose de 70 anos, dependendo do material e estado de conservação do telhado.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Remoção completa da contaminação na cobertura do telhado.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Dependente do tempo da aplicação após a contaminação, Natureza do material das telhas Uma fração (geralmente pequena) da contaminação pode ter penetrado na construção de madeira subjacente.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Novos materiais de telhado (por ex., telhas de argila, telhas de concreto, ardósia ou feltro de telhadura). Dependendo do tipo de telhado, podem ser necessários martelos, cortadores, ferramentas para extrair pregos, etc. Comparativamente, os custos por área tratada, para ferramentas, são baixos, em relação ao preço das telhas e madeiras necessárias.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Folhas de plástico ou encerados para proteger de chuva, enquanto a medida estiver sendo realizada. Andaimes ou plataformas móveis. Caminhão de transporte para os materiais novos de telhados, assim como para a remoção das telhas retiradas.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Os trabalhadores poderiam idealmente ser trabalhadores profissionais de telhados. A tarefa, entretanto, poderia também ser realizada, por ex., pela defesa civil, após uma pequena instrução. Estima-se um tempo de aproximadamente 0,3-0,5 h por m <sup>2</sup> para cada dois trabalhadores, excluindo a montagem do andaime.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Distâncias envolvidas Altura do prédio. Tipos de coberturas dos telhados a serem removidas e aplicadas. Tipo e tamanho dos andaimes e/ou plataformas móveis. Habilidade do operador. Custos da mão de obra.
<i>Precauções de Segurança</i>	Corda de salvamento. Capacetes de segurança. Botas de segurança. A proteção respiratória pode ser necessária, caso o processo gere poeira.

	Não deve ser realizada como autoajuda, por causa do risco de queda do telhado.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Grandes quantidades (tipicamente aprox. 20-50 kg por m <sup>2</sup> ), dependendo do tipo de telhado a ser removido. Normalmente a atividade específica é muito baixa. O césio se liga fortemente a, por ex., materiais de ardósia, de argila e de concreto.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Materiais de telhado (telhas de ardósia, argila, concreto).
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade da população, padrão de comportamento e idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. As calhas dos telhados e os canos de drenagem também devem ser renovados. Prédios industriais frequentemente possuem construções leves de telhado (não fornecendo boa blindagem) e a pequena inclinação frequente do telhado pode fornecer um nível relativamente alto de contaminação.
<i>Dose Adicional</i>	A dose de um dia em um operador pode ser 2-3 vezes mais alta do que em um indivíduo que mora na área contaminada (possivelmente até mesmo mais, dependendo da altura do telhado, do tipo de área, etc.).
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Testado numa escala realista em paredes selecionadas no CIS e na Europa, após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	H1, H2, R4, R5.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RESIDENCIAL / URBANA</b>	<b>No. 23</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Interior de residências (superfícies internas)</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Lavagem/Limpeza de superfícies</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Limpeza de superfícies internas.</b>
<i>Objetivo</i>	Reduzir a taxa de dose externa na área.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Contribuições de dose a partir de uma contaminação de ambientes interiores podem ser significativas, especialmente durante o primeiro ano após a contaminação do ambiente externo. Também durante períodos mais longos, a contaminação pode ser trazida para dentro de habitações, por ex., através de sapatos. A medida consiste, essencialmente, em limpar por aspiração a vácuo tapetes e carpetes, e lavar os assoalhos descobertos completa e regularmente. Também a remoção de poeira de outras superfícies pode contribuir para a redução da dose.
<i>Alvo</i>	Superfícies internas contaminadas de prédios residenciais ou industriais. Em especial, a medida se aplica a pisos, já que a maioria da contaminação por via aérea inicial e quase toda a contaminação secundária (por ex., trazida pelos sapatos) se depositarão neles.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada numa grande escala em áreas residenciais/ industriais.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa. Secundariamente, também a inalação de partículas de poeira ressuspensas em ambientes interiores.
<i>Momento de Aplicação</i>	Geralmente deveria ser iniciada tão cedo quanto possível, quando a situação radiológica estiver esclarecida; As doses dos trabalhadores devem ser consideradas. Os assoalhos próximos às áreas pesadamente contaminadas devem ser limpos regularmente por períodos longos.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	A limpeza/retirada de poeira a vácuo de carpetes apresentará geralmente um efeito insignificante em concentrações de partículas de contaminante da ordem de aprox. 1 µm (conforme o observado com as partículas iniciais com contaminação de césio após o acidente de Chernobyl). Entretanto, a fração de contaminante se tornará rapidamente presa a partículas maiores de poeira doméstica (>5 µm), para o qual a limpeza a vácuo/ desempoeiramento pode ser altamente eficiente (redução > 90%). As partículas de solo trazidas pelos sapatos ou pelo vento serão relativamente grandes (fáceis de remover). Lavagem de assoalhos: remoção de aprox. 35-65% da contaminação.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Cuidado tomado em aspirar a vácuo e lavar todo o piso. Tempo após a deposição (o tempo afeta o tamanho e reatividade, alterando a fixação química das partículas do contaminante). Tipo de limpador a vácuo (preferivelmente equipado com um filtro eficiente a fim de impedir a ressuspensão). Detergentes de limpeza. Tipo de carpete e outras superfícies presentes no ambiente interno. Carga de poeira no momento da deposição. Frequência da limpeza.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Limpador a vácuo doméstico comum. Pano de limpeza.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Aprox. 4 sacos de filtros por 100 m <sup>2</sup> por ano, custos variáveis para a água, o detergente de limpeza.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Pode ser realizada por habitantes do local (iniciativa de autoajuda). Aspiração a vácuo: da ordem de ½ minuto por m <sup>2</sup> .



	Lavagem: da ordem de 2-3 minutos por m <sup>2</sup> . Adicionalmente, o tempo para o transporte de rejeitos.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Custos individuais de trabalho doméstico. tipo de limpador a vácuo.
<i>Precauções de Segurança</i>	Pode ser necessária a proteção respiratória, em áreas altamente contaminadas. Luvas de plástico à prova de água para a lavagem.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Filtros contaminados (variável, mas geralmente com alta atividade específica). Estimativa aproximada da quantidade: alguns 40 g por m <sup>-2</sup> por ano. Lavagem e remoção de poeira de roupa contaminada. A água de lavagem contaminada pode ser levada ao sistema de drenagem.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Poeira doméstica, água de lavagem contaminada, filtros contaminados.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	A taxa de ventilação e a taxa de deposição (influenciadas por mobílias) na deposição do contaminante por via aérea. Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento na habitação inteira. Atividades humanas (ou animais) na habitação (influenciando quantidades e tipos de partículas de poeira doméstica).
<i>Dose Adicional</i>	Particularmente imediatamente após a deposição, doses de inalação a partir de partículas ressuspensas. Nem todos os tipos de proteção respiratória serão muito eficientes para partículas pequenas.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Vários testes de pequena escala têm sido relatados antes e após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	A6, R1, A1.
<i>Comentários</i>	Os filtros não deveriam ser mudados com excesso de frequência, pois a poeira doméstica antiga no filtro aumenta a eficiência para partículas pequenas. Para partículas de 1 µm, foi registrada uma retenção do filtro de 97%.



**PARTE 2**  
**ÁREAS RURAIS**



<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 01</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Diluição da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aragem normal.</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais.
<i>Objetivo</i>	Descontaminar o solo.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Arar para diluir os radionuclídeos na camada radicular. A contaminação permanece nos 20-30 cm superiores, porém em concentrações diluídas. Embora a contaminação seja ainda absorvida pela maioria dos produtos agrícolas, a taxa seria menor do que aquela antes da aragem.
<i>Alvo</i>	Grandes áreas abertas de solo contaminado, nas quais se cultivam produtos agrícolas.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, céσιο, plutônio e amerício.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada em pequena ou larga escala, dependendo do tamanho da área de cultivo dos produtos.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados, exposição externa e inalação por ressuspensão.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	A camada arada deve ser suficiente para levar a concentração de radionuclídeos no solo a níveis aceitáveis, levando em conta a contaminação inicial na superfície, o tipo de solo e os fatores de transferência específicos para o tipo de produto cultivado na área.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Onde a aragem uma profundidade de 20-30 cm for um procedimento de cultivo rotineiro, este será um método valioso, desde que os arados e os tratores estejam prontamente disponíveis e que não ocorra redução na fertilidade.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Depende do tipo e da profundidade do solo e do tipo de produto agrícola, especialmente a profundidade das raízes. Arados, tais como os de disco ou de talhadeira, que não invertem uma fatia de sulco, serão menos eficazes. Quantidade, natureza e extensão da deposição.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Arado convencional.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	Operadores de arado.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	Pode ser necessário proteger os operadores dos arados contra inalação devido à ressuspensão de poeiras durante a aplicação do procedimento. A dose externa na área deve ser também considerada para os operadores do arado.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.

<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação, onde for necessário. Tamanho da área tratada em relação ao tipo de ambiente. Tipo de solo Tipo de produto cultivado; o método pode reduzir a dose de ingestão, dependendo do sistema de raiz do produto cultivado na área.
<i>Dose Adicional</i>	Onde os arados são puxados por animais, a exposição do operador à poeira contaminada deve ser considerada. Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra inalação e contaminação da pele/ roupas, onde for necessário. Nem todos os tipos de proteção respiratória serão muito eficientes para partículas pequenas.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, S3, M1, V1, J6, V3, A8.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 02</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Diluição da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aragem profunda.</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais.
<i>Objetivo</i>	Diluir a contaminação do solo.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Arar para diluir os radionuclídeos na camada radicular. Grandes arados puxados por tratores de grande porte podem funcionar em profundidades de até 1 m.
<i>Alvo</i>	Grandes áreas abertas de solo contaminado, nas quais se cultivam produtos agrícolas.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, cézio, plutônio e amerício.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada em pequena ou larga escala, dependendo do tamanho da área de cultivo dos produtos e da disponibilidade de equipamento adequado.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados, exposição externa e inalação de material ressuspenso.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Reduz bastante a absorção de radionuclídeos, especialmente para plantas com raízes superficiais. Para tais plantas com um período curto de crescimento, a redução pode ocorrer por um fator de 10.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo de solo. Tipo de espécies cultivadas. A disponibilidade da maquinaria é a principal limitação. Quantidade, natureza e extensão da deposição.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Arado e trator de grande porte.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Perda da camada fértil superior do solo, possivelmente de forma permanente e substituição de uma camada potencialmente infértil de solo na superfície. Haverá provavelmente alterações na drenagem do solo.
<i>Precauções de Segurança</i>	Deve ser considerada a dose externa e de inalação de material ressuspenso para os operadores.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Tipo de solo e de produto agrícola cultivado. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação, onde for necessário. No caso de plantio de produtos agrícolas comestíveis, o método pode reduzir a dose de ingestão, dependendo do sistema de raiz do produto. Tamanho da área tratada em relação ao tipo de ambiente.

<i>Dose Adicional</i>	Deve-se tomar cuidado com as pessoas responsáveis por manusear as máquinas, a fim de que elas não sejam expostas à ressuspensão da radioatividade depositada no solo e/ ou à dose externa. Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra inalação e contaminação da pele/ roupas. Nem todos os tipos de proteção respiratória serão muito eficientes para partículas pequenas.
<i>Outros Impactos</i>	Pode ocorrer impacto adverso na fertilidade e capacidade de drenagem do solo.
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, S3, M1, V1, J6, V3, A8.
<i>Comentários</i>	Esta técnica é impraticável em solos arenosos.



<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 03</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos rurais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Raspagem superficial e enterro ("Triple digging").</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais.
<i>Objetivo</i>	Descontaminar o solo.
<i>Descrição da Contramedida</i>	O método foi desenvolvido de forma a retirar a camada superior de 5-10 cm do solo e colocá-la, como uma camada discreta, numa profundidade de 50 cm sob uma camada não-invertida de solo. Exige equipamento de grande porte ("bulldozer").
<i>Alvo</i>	Grandes áreas abertas de solo contaminado, nas quais se cultivam produtos agrícolas.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, céσιο, plutônio e amerício.
<i>Escala De Aplicação</i>	Depende do tamanho da área de cultivo dos produtos e da disponibilidade de equipamento adequado.
<i>Via de Contaminação</i>	Incorporação pela raiz.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados e exposição externa por ressuspensão.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	Tipo de solo e sistema radicular dos produtos cultivados.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Minimiza a absorção de radionuclídeos, especialmente para plantas com raízes superficiais. Até mesmo para produtos agrícolas de raízes profundas, pode haver uma redução média por um fator de pelo menos 10.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo de solo. Requer equipamento especializado (tratores de maior porte do que os presentes na maioria das fazendas) que talvez não esteja prontamente disponível. Quantidade, natureza e extensão da deposição.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Equipamentos de grande porte capazes de trabalhar com camadas de solo ("bulldozer").
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	O procedimento exige conhecimento específico de operação.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	A drenagem do solo poderia ser danificada.
<i>Precauções de Segurança</i>	Proteção dos operadores em relação à exposição externa e à ressuspensão de poeiras.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação, onde for necessário. A eficiência depende do sistema de raiz do produto. Tamanho da área tratada em relação ao tipo de ambiente.

<i>Dose Adicional</i>	Deve-se tomar cuidado com as pessoas responsáveis por manusear as máquinas, a fim de que elas não sejam expostas à ressuspensão da radioatividade depositada no solo e/ ou à dose externa. Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra, por exemplo, inalação de contaminantes e contaminação da pele/ roupas.
<i>Outros Impactos</i>	Possível perda de fertilidade e impactos na drenagem natural do solo.
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, S3, M1, V1, J6, V3, A8.
<i>Comentários</i>	A fertilidade do solo normalmente não seria prejudicada.

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 04</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos rurais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Remoção da camada superior do solo por máquinas.</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais.
<i>Objetivo</i>	Descontaminar o solo.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Utilizar equipamentos convencionais de construção de estradas, tais como escavadeiras, raspadeiras etc., para remover uma camada superficial do solo contaminado.
<i>Alvo</i>	Grandes áreas abertas de solo contaminado, nas quais se cultivam produtos agrícolas ou há pasto.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, césio, plutônio e amerício.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada em pequena ou larga escala, dependendo do tamanho da área de cultivo dos produtos.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados. Diminui substancialmente o risco de ressuspensão; Permite a produção de plantas menos contaminadas.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	A remoção de 5-10 cm de solo pode remover até 95% do material depositado.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	A técnica pode ser menos eficiente um ano ou mais após a deposição para radionuclídeos que são móveis no solo considerado. A remoção de uma camada de solo contaminado é uma possibilidade para ambos os sistemas aráveis e de pasto, contanto que a camada superior do solo remanescente seja suficientemente fértil para sustentar o crescimento da planta. Requer equipamento especializado que talvez não esteja prontamente disponível. Quantidade, natureza e extensão da deposição.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Escavadeiras e/ou raspadeiras.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	Habilidade na operação do equipamento.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	É uma contramedida cara e só deve ser aplicada em solos onde a fertilidade e a drenagem não seriam prejudicadas através da remoção de uma camada superficial (5-10 cm) de solo.
<i>Precauções de Segurança</i>	Deve ser considerada a dose externa e a inalação de material ressuspenso pelos operadores dos equipamentos e para o manuseio do rejeito gerado.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Uma camada de solo de 5 cm sobre uma área de 1 ha possui um volume de 500 m <sup>3</sup> e uma massa de aproximadamente 700 t.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Solo contaminado.

<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	<p>Idade das pessoas expostas.</p> <p>Consistência em realizar o procedimento numa área grande.</p> <p>Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a exposição externa e a inalação, se forem necessários.</p> <p>Proteção durante o manuseio, transporte e deposição dos rejeitos gerados.</p> <p>O método pode reduzir o conteúdo de radionuclídeos de alimentos produzidos na área correspondendo ao fator de descontaminação.</p> <p>Tamanho da área tratada em relação ao tipo de ambiente.</p> <p>Tempo e quantidade de precipitação durante/ desde a contaminação.</p>
<i>Dose Adicional</i>	<p>Deve-se tomar cuidado com as pessoas responsáveis por manusear as máquinas, a fim de que elas não sejam expostas à ressuspensão da radioatividade depositada no solo e/ ou à dose externa.</p> <p>Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra inalação e contaminação da pele/ roupas.</p>
<i>Outros Impactos</i>	<p>Para solos menos férteis, pode haver uma perda significativa de nutrientes; portanto, uma fertilização adicional pode ser necessária em períodos subsequentes de cultivo.</p>
<i>Experiência Prática</i>	<p>Testado no CIS após o acidente de Chernobyl.</p> <p>As desvantagens eliminaram esta contramedida da consideração em vários países.</p> <p>Ela foi, entretanto, aplicada com sucesso após o incidente de Palomares.</p>
<i>Referências</i>	I1, S3, M1, V1, J6, V3, A8.
<i>Comentários</i>	<p>A raspagem da camada superior do solo não é possível sob algumas circunstâncias, p.ex., solos superficiais arenosos e/ou pedregosos.</p> <p>Em solos úmidos de turfa, será difícil utilizar uma grande maquinaria e em solos pesados de argila, a descontaminação pode ser limitada em épocas do ano quando o solo for viável.</p> <p>Solos arenosos e sem estrutura não podem ser removidos eficazmente como uma fina camada.</p>

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 05</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos rurais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Remoção da camada superior do solo e vegetação rasteira por máquinas.</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais.
<i>Objetivo</i>	Descontaminar o solo.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Utilizar um cortador de grama para remover uma camada superficial contaminada da parte superior do solo. Existem estudos para uma possível fabricação de uma máquina multimódulo, na qual um número de cortadores de grama seriam ligados e conduzidos por um trator. A estabilização da superfície do solo, para facilitar a remoção do solo, também tem sido tentada utilizando a rede vegetal de descontaminação ('DVN'): sementes de gramíneas são semeadas junto com uma mistura de turfa, polissacarídeos e água. Quando a rede radicular é suficientemente estabelecida, a parte superior do solo de 1-2 cm é removida com um cortador de grama. O DVN possui a vantagem adicional que a ressuspensão do solo contaminado é reduzida através do recobrimento do solo pelo meio de crescimento das plantas.
<i>Alvo</i>	Grandes áreas abertas de solo contaminado, nas quais se cultivam produtos agrícolas ou há pasto.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, céσιο, plutônio e amerício.
<i>Escala de Aplicação</i>	Os projetos atuais das máquinas de cortar grama não são adequados para grandes áreas.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente incorporação pela raiz.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados e possivelmente, exposição externa e inalação por ressuspensão.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	A remoção de 2-4 cm da camada superior do solo pode remover quase toda a radioatividade.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Requer equipamento especializado que talvez não esteja prontamente disponível. Quantidade, natureza e extensão da deposição. Depende do tipo de solo.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Cortador de grama, para operação em pequena escala, Cortador multimódulo para operação em maior escala.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	No caso de exigir preparo do solo, mistura adequada de turfa, polissacarídeos, água e sementes de gramíneas.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Requer treinamento específico e cuidados especiais na manipulação do rejeito gerado.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	Proteção dos trabalhadores durante a aplicação do procedimento e durante a manipulação do rejeito gerado.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Dependendo da técnica, aproximadamente apenas 15% da camada superior do solo contaminado da maioria dos solos aráveis pode ser removida.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Solo contaminado.

<p><i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i></p>	<p>Idade das pessoas expostas.  Consistência em realizar o procedimento numa área grande.  Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação e exposição externa.  Proteção durante o manuseio, transporte e deposição dos rejeitos gerados.  Se os produtos agrícolas comestíveis forem cultivados, o método pode reduzir o seu conteúdo de radionuclídeos correspondendo ao fator de descontaminação alcançado.  Tamanho da área tratada em relação ao tipo de ambiente.  Tipo de solo  Tempo e quantidade de precipitação durante/ desde a contaminação.</p>
<p><i>Dose Adicional</i></p>	<p>Deve-se tomar cuidado com as pessoas responsáveis por manusear as máquinas, a fim de que elas não sejam expostas à ressuspensão da radioatividade depositada no solo e/ ou à dose externa.  Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra, por exemplo, inalação de contaminantes e contaminação da pele/ roupas.  Doses decorrentes do manuseio, transporte e deposição dos rejeitos.</p>
<p><i>Outros Impactos</i></p>	<p>—</p>
<p><i>Experiência Prática</i></p>	<p>Testado no CIS e nas proximidades de Chernobyl, após o acidente.</p>
<p><i>Referências</i></p>	<p>I1, S3, M3, V5, J6, V3, A8, J5, D1.</p>
<p><i>Comentários</i></p>	<p>Um colhedor de grama remove apenas poucos centímetros da camada superior do solo.  Dependendo da técnica utilizada, possivelmente leva à redução da ressuspensão em solos contaminados, a redução de rejeitos radioativos gerados e a ampla preservação da estrutura do solo.  Possibilidade de recolonização de plantas nativas naturais.  Pode ser utilizado em pastos ou em campos cultivados que tenham sido abandonados.</p>

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 06</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Destruição de produtos animais.</b>
<i>Superfície</i>	Produtos contaminados, de origem animal.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a dose por ingestão de alimentos provenientes de gado.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Não é estritamente uma contramedida, mas é uma ação que poderia ser considerada.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam.
<i>Radionuclídeos</i>	Principalmente césio, estrôncio e iodo.
<i>Escala de Aplicação</i>	A destruição causa muito desperdício e deveria ser utilizada apenas em circunstâncias excepcionais. Dependendo do caso, não deve ser aplicada.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente, ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne e miúdos provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Pode precisar ser aplicada a curto prazo após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Descarte adequado de carcaças ou leite altamente contaminados. Tipo e idade do gado (espécies animais).
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Diversos produtos animais, tais como: carcaças e leite, que podem não ser fáceis de serem preparados para deposição.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	—
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Utilizado imediatamente após o acidente de Windscale, quando cerca de 3 milhões de litros de leite contaminado com I-131 foram descartados no Mar Irlandês e após o acidente de Chernobyl, quando carne contaminada com césio foi destruída.
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4, J1.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 07</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos rurais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Recobrimento/Isolamento da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Estabilização da superfície do solo.</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais ou urbanas.
<i>Objetivo</i>	Imobilizar a contaminação do solo e impedir a ressuspensão.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Aplicação de estabilizadores de superfície, tais como água, solo, materiais de asfalto, óleo, emulsões ou ligantes químicos/ polímeros sintéticos. Após a deposição, os radionuclídeos associados com o solo da superfície são suscetíveis à ressuspensão. A estabilização da superfície reduz este risco e também mantém o depósito num local fixo, ou permanentemente, ou até que uma técnica de descontaminação apropriada possa ser aplicada. Entretanto, o solo original é enterrado, e por isso, difícil de ser recuperado posteriormente.
<i>Alvo</i>	Grandes áreas abertas de solo contaminado.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, céσιο, plutônio e amerício.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada em pequena ou larga escala, dependendo do tamanho da área de solo.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa por ressuspensão.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	Pode restringir o uso posterior do solo ou exigir tratamentos caros e com geração de grande quantidade de rejeito misto.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Variável, dependendo da cobertura utilizada e da sua taxa de deterioração.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Requer material especializado que talvez não esteja prontamente disponível. Quantidade, natureza e extensão da deposição. Tipo de solo.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Depende do método selecionado.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Requer conhecimentos especializados.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	—
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação, se necessário. Tamanho da área tratada em relação ao tipo de ambiente.
<i>Dose Adicional</i>	Deve-se tomar cuidado com as pessoas responsáveis por aplicar os estabilizadores, para que elas não sejam expostas à ressuspensão e/ou à dose externa. Influenciada pelas medidas tomadas para proteger operadores contra inalação e contaminação da pele/ roupas.



<i>Outros Impactos</i>	Perda do uso da área até que medida complementar de remediação seja aplicada.
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, S3, M3, V5, J6, V3, A8, J5.
<i>Comentários</i>	Medidas de recobrimento devem ser usadas com cuidado para o caso de radionuclídeos de meia-vida longa, devido à perda de memória e uso posterior da área.

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 08</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos rurais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Recobrimento/Isolamento da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Adição de uma camada de sorvente.</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais ou urbanas.
<i>Objetivo</i>	Impedir a migração de rejeitos radioativos enterrados.
<i>Descrição da Contramedida</i>	A água subterrânea pode ser contaminada por radionuclídeos do rejeito radioativo enterrado, por exemplo, em locais onde a camada superior de solo foi removida e enterrada. Pesquisas estão em progresso com materiais sorventes, que podem impedir a migração, particularmente de radionuclídeos enterrados após o acidente de Chernobyl.
<i>Alvo</i>	Camadas de solo contaminado.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, célio, plutônio e amerício.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada em pequena ou larga escala, dependendo do tamanho da área de solo.
<i>Via de Contaminação</i>	Migração descendente em direção a águas subterrâneas.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição externa ou ingestão de águas subterrâneas contaminadas.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Quantidade e extensão da radioatividade residual.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	—
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação, onde forem necessárias. Tamanho da área tratada.
<i>Dose Adicional</i>	Deve-se tomar cuidado com as pessoas responsáveis por enterrar os rejeitos e por aplicar os sorventes, a fim de que elas não sejam expostas à ressuspensão da radioatividade depositada no solo e/ ou à dose externa. Influenciada pelas medidas tomadas para proteger operadores contra inalação e contaminação da pele/ roupas, onde for necessário.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Testado no CIS, após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, S3, M3, V5, J6, V3, A8.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 09</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento do solo</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aplicação de calcáreos em solos ácidos.</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a transferência solo-planta.
<i>Descrição da Contramedida</i>	A calagem reduz a absorção de céσιο e de estrôncio em plantas, pelo aumento da capacidade de troca catiônica do solo. É geralmente barato e fácil de ser aplicado. Por causa da similaridade química entre $\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Sr}^{2+}$ , a aplicação do cálcio também reduz a absorção de Sr através do decréscimo da taxa $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ na solução do solo.
<i>Alvo</i>	Áreas abertas de solo contaminado, nas quais se cultivam produtos agrícolas ou há pasto.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio e estrôncio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou larga escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados e de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Alta, porém varia com o pH inicial do solo; Fator de redução para Sr-90 de até 10 (com uma média de 2 a 3), e para Cs-137 de até 3. A eficácia mais alta é alcançada em solos com uma concentração baixa de cálcio trocável ( $< 10 \text{ meq Ca}^{2+}/100 \text{ g solo}$ ) e com uma saturação de base de baixa porcentagem, mas ainda é eficaz em solos com níveis de cálcio trocável de até $10 \text{ meq}/100 \text{ g}$ . Isto se aplica em solos minerais, no qual $\text{Sr}^{2+}$ é preferencialmente adsorvido em relação ao $\text{Ca}^{2+}$ . A calagem é mais eficaz na retenção da absorção de radiocésio pela raiz quando aplicada em conjunto com potássio. É mais eficaz quando aplicada em solos orgânicos.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo, propriedades e condições do solo. Tipo de produto agrícola cultivado. Quantidade, extensão e distribuição espacial da deposição, estoque de radionuclídeos presentes e utilização do solo.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação Tipo de produto cultivado. Tipo de solo.
<i>Dose Adicional</i>	Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra inalação e contaminação da pele/ roupas,

	Preferencialmente, a dose evitada deve ser considerada e não apenas a redução nas concentrações de radionuclídeos na cadeia alimentar.
<i>Outros Impactos</i>	Na agricultura intensiva, um aumento adicional das taxas do fertilizante pode apresentar efeitos agronômicos indesejáveis, tais como redução da disponibilidade dos micronutrientes essenciais.
<i>Experiência Prática</i>	Foi extensivamente utilizado em países da antiga União Soviética desde o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, D2, W4, P2, A6, N2, L1, N1, K1, M4, E2.
<i>Comentários</i>	Em solos com um alto conteúdo de matéria orgânica, a qual adsorve preferencialmente $\text{Ca}^{2+}$ , é improvável que a cal possa deslocar o Sr dos sítios de troca e aumentar sua disponibilidade. Nenhum benefício foi observado quando a aplicação excede 3 t/ha. Nos países da antiga União Soviética, as medidas baseadas em fertilizantes em combinação com o melhoramento do pasto (aragem e ressemeadura com calagem e aplicação de fertilizante), têm sido mais eficazes do que a imobilização do céσιο.

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 10</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento do solo</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aplicação de sapropel (resíduos orgânicos).</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a transferência solo-planta.
<i>Descrição da Contramedida</i>	O sapropel se origina a partir de depósitos no fundo de lagos naturais e é composto de resíduos de plantas decompostas sob condições anaeróbicas. O sapropel reduz a absorção tanto do césio quanto do estrôncio. É barato, onde estiver disponível, e fácil de ser aplicado. Não é prejudicial para plantas, até mesmo quando aplicado em grandes quantidades (> 150 t/ha).
<i>Alvo</i>	Áreas abertas de solo contaminado, nas quais se cultivam produtos agrícolas ou há pasto.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio e estrôncio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou larga grande escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados e de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Alta, com fator de redução de até 6 para césio, e 5 para estrôncio. Para o césio, o sapropel é particularmente eficaz quando aplicado em solos com baixos níveis de potássio trocável. Nos países da antiga União Soviética, contramedidas baseadas em fertilizantes em combinação com o melhoramento de pasto (aragem e ressemeadura com calagem e aplicação de fertilizante), têm sido mais eficazes do que a imobilização do césio.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo, propriedades e condições do solo. Tipo de produto agrícola cultivado. Quantidade, extensão e distribuição espacial da deposição, estoque de radionuclídeos presentes e utilização do solo. Depende da disponibilidade dos recursos requeridos. O transporte de longa distância do sapropel úmido não é praticável.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Sapropel disponível em distâncias curtas.
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande.

<i>Dose Adicional</i>	Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra inalação e contaminação da pele/ roupas. Preferencialmente, a dose evitada deve ser considerada e não apenas a redução nas concentrações da atividade na cadeia alimentar.
<i>Outros Impactos</i>	Na agricultura intensiva, um aumento adicional das taxas do fertilizante pode apresentar efeitos agronômicos indesejáveis, tais como redução da disponibilidade dos micronutrientes essenciais.
<i>Experiência Prática</i>	Foi extensivamente utilizado em países da antiga União Soviética desde o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, D2, W4, P2, A6, N2, L1, N1, K1, M4, E2.
<i>Comentários</i>	Embora contenha cálcio, se o sapropel utilizado possuir um pH menor que 5, o cal deveria também ser aplicado. Há apenas informação sobre a disponibilidade e da eficácia do sapropel em países da antiga União Soviética. O sapropel aumenta a produção da planta por meio do aumento do conteúdo de nutrientes e de microelementos no solo tratado.

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 11</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento do solo</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aplicação de fertilizantes de potássio.</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a transferência solo-planta.
<i>Descrição da Contramedida</i>	A aplicação de fertilizantes de potássio reduz a absorção de césio por plantas, através do decréscimo da taxa Cs/K na solução do solo. A aplicação do potássio é barata e comparativamente fácil de ser realizada. O potássio é um análogo químico do césio e compete com o césio pela absorção nas raízes. Aplicações de não mais que 200 kg.ha <sup>-1</sup> .a <sup>-1</sup> são recomendadas.
<i>Alvo</i>	Áreas abertas de solo contaminado, nas quais se cultivam produtos agrícolas ou há pasto.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou larga escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados e de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Alta quando aplicada em solos com baixos níveis de potássio trocável e em solução de solo, concentrações de potássio abaixo de 20 mM. Fator de redução de até 5. A eficácia mais alta é alcançada em solos com níveis muito baixos (< 10 mM) de potássio disponível. Taxas mais altas podem deslocar o radiocésio de sítios de troca de íons e, portanto, poderiam aumentar a absorção pela raiz. Nos países da antiga União Soviética, contramedidas baseadas em fertilizantes em combinação com o melhoramento de pasto (aragem e ressemeadura com calagem e aplicação de fertilizante), têm sido mais eficazes do que a imobilização do césio.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo, propriedades e condições do solo. Tipo de produto agrícola cultivado. Quantidade, extensão e distribuição espacial da deposição, estoque de radionuclídeos presentes e utilização do solo. Depende da disponibilidade dos recursos requeridos.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Relevância dos produtos para a dieta/dose da população.
<i>Dose Adicional</i>	Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra

	inalação e contaminação da pele/ roupas.
<i>Outros Impactos</i>	Na agricultura intensiva, um aumento adicional das taxas do fertilizante poderia até mesmo apresentar efeitos agrônômicos indesejáveis, tais como redução da disponibilidade dos micronutrientes essenciais.
<i>Experiência Prática</i>	Foi extensivamente utilizado em países da antiga União Soviética desde o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, D2, W4, P2, A6, N2, L1, N1, K1, M4, E2.
<i>Comentários</i>	—



<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 12</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento do solo</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aplicação de aluminossilicatos.</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a transferência solo-planta.
<i>Descrição da Contraceção</i>	Os silicatos de alumínio aumentam a capacidade de troca catiônica do solo, e por isso, aumentam a sorção do césio.
<i>Alvo</i>	Áreas abertas de solo contaminado, nas quais se cultivam produtos agrícolas ou há pasto.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada numa pequena ou grande escala. Dependendo do caso, não deve ser aplicada.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados e de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contraceção</i>	Limitada, com fator de redução de até 2. Nos países da antiga União Soviética, contraceções baseadas em fertilizantes em combinação com o melhoramento de pasto (aragem e ressemeadura com calagem e aplicação de fertilizante), têm sido mais eficazes do que a imobilização do césio.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Os silicatos de alumínio são comparativamente caros, necessitando de taxas de aplicação de diversas toneladas por hectare, e não estão disponíveis em todos os lugares. Tipo, propriedades e condições do solo. Tipo de produto agrícola cultivado. Quantidade, extensão e distribuição espacial da deposição, estoque de radionuclídeos presentes e utilização do solo. Depende da disponibilidade dos recursos requeridos.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	—
<i>Dose Adicional</i>	Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra inalação e contaminação da pele/ roupas Preferencialmente, a dose evitada deve ser considerada e não apenas a redução nas concentrações da atividade na cadeia alimentar.
<i>Outros Impactos</i>	Na agricultura intensiva, um aumento adicional das taxas do fertilizante poderia até mesmo apresentar efeitos agrônômicos indesejáveis, tais como redução da disponibilidade dos micronutrientes essenciais.
<i>Experiência Prática</i>	Foi extensivamente utilizado em países da antiga União Soviética desde

	o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, D2, W4, P2, A6, N2, L1, N1, K1, M4, E2.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 13</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento do solo</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aplicação de fertilizantes orgânicos.</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a transferência solo-planta.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Fertilizantes orgânicos, tal como o esterco, são geralmente baratos e fáceis de serem aplicados, substituindo eficazmente os fertilizantes inorgânicos e aumentando a produção de plantas por meio do aumento dos conteúdos de nutrientes e de microelementos no solo tratado. Eles podem ser eficazes na redução da absorção de Sr-90 em solos minerais.
<i>Alvo</i>	Áreas abertas de solo contaminado, nas quais se cultivam produtos agrícolas ou há pasto.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente estrôncio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada numa pequena ou grande escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados e de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Alta, com fator de redução de até 5. Nos países da antiga União Soviética, contramedidas baseadas em fertilizantes em combinação com o melhoramento de pasto (aração e ressemeadura com calagem e aplicação de fertilizante), têm sido mais eficazes do que a imobilização do céσιο.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	É importante notar que a aplicação da matéria orgânica pode aumentar a absorção de céσιο e, portanto, não seria recomendada caso o solo tenha sido contaminado com um depósito misturado. Tipo, propriedades e condições do solo. Tipo de produto agrícola cultivado. Quantidade, extensão e distribuição espacial da deposição, estoque de radionuclídeos presentes e utilização do solo. Depende da disponibilidade dos recursos necessários.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Fertilizantes orgânicos.
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Durante/ desde a contaminação.
<i>Dose Adicional</i>	Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra inalação e contaminação da pele/ roupas.

<i>Outros Impactos</i>	Na agricultura intensiva, um aumento adicional das taxas do fertilizante poderia até mesmo apresentar efeitos agronômicos indesejáveis, tais como redução da disponibilidade dos micronutrientes essenciais.
<i>Experiência Prática</i>	Foi extensivamente utilizado em países da antiga União Soviética desde o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, D2, W4, P2, A6, N2, L1, N1, K1, M4, E2, C3.
<i>Comentários</i>	É importante assegurar que materiais, tais como turfa escavada do local, não tenham sido contaminados pelo mesmo evento.

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 14</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento do solo</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aplicação de fertilizantes solúveis de fosfato.</b>
<i>Superfície</i>	Solos de áreas rurais.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a transferência solo-planta.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Uma vez que o fosfato de estrôncio é relativamente insolúvel, a aplicação de fosfatos solúveis poderia reduzir sua disponibilidade pela precipitação.
<i>Alvo</i>	Áreas abertas de solo contaminado, nas quais se cultivam produtos agrícolas ou há pasto.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente estrôncio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou larga escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados e de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Fator de redução de até 10. Nos países da antiga União Soviética, contramedidas baseadas em fertilizantes em combinação com o melhoramento de pasto (aragem e ressemeadura com calagem e aplicação de fertilizante), têm sido mais eficazes do que a imobilização do césio.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	A aplicação de fosfatos (ou sulfatos e silicatos) pode reduzir a disponibilidade dos micronutrientes essenciais cujos fosfatos também são de baixa solubilidade. Tipo, propriedades e condições do solo. Tipo de produto agrícola cultivado. Quantidade, extensão e distribuição espacial da deposição, estoque de radionuclídeos presentes e utilização do solo. Depende da disponibilidade dos recursos requeridos.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Fertilizante fosfatado.
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	—
<i>Dose Adicional</i>	Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra inalação e contaminação da pele/ roupas.
<i>Outros Impactos</i>	Na agricultura intensiva, um aumento adicional das taxas do fertilizante poderia até mesmo apresentar efeitos agrônômicos indesejáveis, tais como redução da disponibilidade dos micronutrientes essenciais.

<i>Experiência Prática</i>	Foi extensivamente utilizado em países da antiga União Soviética desde o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, D2, W4, P2, A6, N2, L1, N1, K1, M4, E2, C3.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 15</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento de animais (iodo)</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Adição de iodo estável na alimentação animal.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas de criação de gado leiteiro.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a quantidade de iodo radioativo no leite.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Alimentar animais com iodo estável numa taxa em excesso de exigências diárias normais.
<i>Alvo</i>	Leite contaminado.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente iodo.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em ampla escala, contanto que os recursos estejam disponíveis. Dependendo do caso, não deve ser aplicada.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão do leite contaminado.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada durante as primeiras semanas após a deposição radioativa, o mais cedo possível a fim de alcançar o efeito máximo.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	As relações dinâmicas entre a absorção de radioiodo pela tiróide e a transferência para o leite não estão esclarecidas, e em algumas circunstâncias, o fornecimento de iodo estável pode aumentar os níveis de I-131 no leite.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tempo e rigidez da aplicação das pastilhas.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Pastilhas de iodo estável.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Pode ser aplicada por um grande número de fazendeiros com pouca instrução.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Possibilidade de controlar a ingestão de alimentos pelos animais.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, J4, L3, P1, V4, L2, W3.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 16</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento de animais</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Fornecimento de Azul da Prússia em pastilhas, para descontaminação rápida.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com criação de animais.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a absorção de céσιο no intestino dos animais.
<i>Descrição da Contraceção</i>	Os compostos do Azul da Prússia (hexacianoferratos de ferro de potássio e de amônio) são ligantes do radiocésio, muito eficientes e práticos, no intestino de animais de fazenda. O Azul da Prússia pode ser fornecido para todas as espécies de animais de fazenda, incluindo ruminantes, aves e porcos, pois nenhuma toxidez tem sido observada nestas taxas de dose. Para um efeito máximo, o Azul da Prússia deveria ser fornecido todo dia.
<i>Alvo</i>	Animais comuns de fazendas.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente céσιο.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala, dependendo da quantidade de animais.
<i>Via de Contaminação</i>	—
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contraceção</i>	Cerca de 50% na redução da absorção do céσιο é obtido numa dosagem de 1 mg/kg de peso corporal por dia, e uma redução de mais de 90% na transferência para a carne e para o leite podem ser alcançadas em dosagens de 5-10 mg/kg por dia.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Natureza do radiocésio presente no ambiente. Idade e espécie do animal. Quantidade de radioatividade residual. Tempo e rigidez da aplicação das pastilhas. Depende dos resultados do monitoramento de leite e de animais.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Pastilhas de Azul da Prússia.
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação e exposição externa.
<i>Dose Adicional</i>	Depende da utilização da roupa de proteção, conforme requerido.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Foram extensivamente utilizados na Noruega após o acidente de Chernobyl e mais recentemente em países da antiga União Soviética. Também foi utilizado com humanos após o incidente de Goiânia no Brasil.
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4, H5.



<i>Comentários</i>	—
--------------------	---

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 17</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento de animais</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Inserção do boli de Azul da Prússia para liberação lenta.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com criação de animais ruminantes.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a absorção de céσιο no intestino dos animais.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Os bolis são particularmente úteis para ruminantes que pastam, já que eles liberam Azul da Prússia por períodos prolongados (semanas até meses) no interior do trato digestivo. Para garantir um efeito a longo prazo, a composição do boli deveria ser padronizada, considerando particularmente a manutenção do seu peso específico para garantir a retenção no animal.
<i>Alvo</i>	Animais ruminantes.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente céσιο.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala, dependendo da quantidade de gado.
<i>Via de Contaminação</i>	—
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	O boli deveria fornecer taxas de liberação de pelo menos 1 mg/kg de peso corporal por dia, a fim de seja eficaz. Uma redução de duas a cinco vezes pode ser alcançada para o leite e a carne de ruminantes que pastam.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Natureza do radiocésio presente no ambiente. Tipo e idade do gado (espécies animais). Extensão e taxa de deposição dos radionuclídeos. Quantidade de radioatividade residual. Tempo e rigidez da aplicação dos bolis. Depende dos resultados do monitoramento de leite e de animais.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Bolis de azul da Prússia.
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Utilizado na Suécia, após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H3, H4, H5.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 18</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento de animais</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Fornecimento de Azul da Prússia em blocos de sal.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com criação de animais.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a absorção de radiocésio no intestino.
<i>Descrição da Contramedida</i>	O Azul da Prússia pode ser incorporado em sais (2,5% ou mais), a fim de ser deixado em áreas acessíveis para animais domésticos ou de livre alcance que não sejam manuseados diariamente. A palatabilidade dos sais é geralmente boa.
<i>Alvo</i>	Animais comuns de fazendas, inclusive os domésticos.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala, dependendo da quantidade de animais.
<i>Via de Contaminação</i>	—
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite, carne e miúdos provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Uma redução média de níveis de radiocésio no gado ovino de aproximadamente 50% tem sido obtida com sais contendo 2,5% de Azul da Prússia. Esses sais são mais eficientes quando o conteúdo de sódio na vegetação é baixo. Também se espera que este procedimento seja particularmente eficaz em países tropicais.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Idade e espécie do animal. Quantidade de radioatividade residual. Altas concentrações do Azul da Prússia reduzem a durabilidade da pastilha. Requer material especializado que talvez não esteja prontamente disponível. Tempo e rigidez da aplicação do sal. Depende dos resultados do monitoramento de leite e de animais.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores, onde for necessário.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Esses sais foram utilizados na Escandinávia após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H3, H4, H5.

<i>Comentários</i>	—
--------------------	---

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 19</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento de animais</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Suplementação da dieta com minerais argilosos ou zeolitos.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com criação de animais.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a absorção de radiocésio no intestino.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Diversos minerais da argila, tais como bentonite, vermiculite e mordenite, e zeolitos, tal como o clinoptilolite se ligarão ao césio no trato gastrointestinal e reduzirão a absorção.
<i>Alvo</i>	Animais comuns de fazendas.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala, dependendo da quantidade de animais. Minerais de argila de diferentes fontes possuem diferentes capacidades de ligação e há problemas logísticos se um grande número de animais precisar ser tratado.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite, carne e miúdos provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	A aplicação em animais ruminantes pode ser difícil ou até mesmo impossível em ambientes seminaturais.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Reduções de aproximadamente 50% podem ser alcançadas por uma dosagem de cerca de 0,5 g/kg de peso corporal por dia. Uma redução máxima de aproximadamente cinco vezes pode ser alcançada numa dosagem de 1-2 g/kg de peso corporal por dia.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Idade e espécie do animal. Quantidade de radioatividade residual. Tempo e rigidez da aplicação dos suplementos. Depende dos resultados do monitoramento de leite e de animais.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Minerais argilosos e zeolitos adequados.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Este método é mais adequado para animais que podem ser alimentados a mão.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Foi utilizado nos países da antiga União Soviética após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4, H5, V4.
<i>Comentários</i>	O humalite, um aditivo alimentar disponível comercialmente, se liga ao césio, e é muito eficaz. Ele é baseado no clinoptilolite com minerais

	adicionados e fezes de minhocas, a fim de que ele também forneça vitaminas e elementos-traço ao animal.
--	---

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 20</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento de animais</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aumento do conteúdo de fibra na dieta de animais.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com criação de gado bovino.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a absorção de radiocésio no intestino.
<i>Descrição da Contraindicada</i>	Fornecer mais fibras, tais como feno e silagem, especialmente para vacas leiteiras que recebem uma dietas concentradas.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala, dependendo da quantidade de gado. Dependendo do caso, não deve ser aplicada.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite, carne e miúdos provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contraindicada</i>	Um estudo sugeriu que os níveis de radiocésio no leite poderiam ser reduzidos em duas vezes pelo aumento do conteúdo de fibra na dieta.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo e idade do gado (espécies animais). Quantidade de radioatividade residual. A viabilidade desta abordagem é dependente da disponibilidade de fibras adequadas, da habilidade do animal em se adaptar à nova dieta e do nível de produtividade. Tempo e rigidez da aplicação das fibras. Depende dos resultados do monitoramento de leite e de animais.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Disponibilidade de fibras adequadas.
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Relativamente poucos estudos foram realizados sobre o efeito do aumento do conteúdo de fibra na dieta.
<i>Referências</i>	I1, J3, J4.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 21</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento de animais</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Fornecimento de dietas ricas em cálcio para animais.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com criação de gado.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a concentração de Sr-89/90 no leite.
<i>Descrição da Contraindicada</i>	Fornecer sais de cálcio ou alimentos naturais ricos em cálcio. Fontes de suplementos de cálcio são numerosos e baratos.
<i>Alvo</i>	Gado leiteiro.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente estrôncio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala, dependendo da quantidade de gado leiteiro.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite proveniente de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contraindicada</i>	O aumento do conteúdo de cálcio na dieta em 2-4 vezes reduzirá os níveis de estrôncio no leite num fator de 1,5 a 3, dependendo do nível inicial da nutrição com cálcio. De acordo com o IUR, adições de compostos de cálcio possuem um efeito decrescente na ordem: $Ca_3(PO)_4 > CaO > Ca(COO)_2 > CaCO_3 > Ca(C_3H_5O_3)_2$ . O cálcio nos vegetais parece ser mais eficaz do que na forma mineral.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Natureza do radioestrôncio presente no ambiente. Tipo e idade do gado (espécies animais). Quantidade de radioatividade residual. Tempo e rigidez da administração do cálcio.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Suplementos de cálcio.
<i>Habilidades Requeridas</i>	É necessário cuidado com esta contraindicada, uma vez que problemas de saúde nos animais podem aumentar caso a taxa de Ca/P d se tornar muito alta.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H3, H4, H5.
<i>Comentários</i>	—



<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 22</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Tratamento de animais</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Fornecimento de alginato na dieta para animais.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com criação de gado.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a absorção no intestino.
<i>Descrição da Contraindicada</i>	O alginato reduz a absorção de radioestrôncio tanto em animais monogástricos quanto em ruminantes.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente estrôncio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala, dependendo da quantidade de gado. Dependendo do caso, não deve ser aplicada.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite, carne e miúdos provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	Frequentemente é difícil persuadir os animais a comerem os alimentos se os alginatos constituem mais do que 7% da dieta.
<i>Eficácia da Contraindicada</i>	Foi relatado que o alginato de sódio adicionado à dieta de vacas leiteiras reduziu a absorção de Sr-90 por um fator de 3-4.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Natureza do radioestrôncio presente no ambiente. Tipo e idade do gado (espécies animais). Quantidade de radioatividade residual. Tempo e rigidez da administração do alginato. Há dificuldades práticas na incorporação de alginatos, os quais comumente são derivados de algas, tais como das espécies de Laminaria, em alimentos comerciais, por causa da viscosidade da preparação.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Alginato em forma adequada para fornecimento a animais.
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4, V2, L3, T2.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 23</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Mudança na utilização do solo através da seleção de variedades adequadas de produtos agrícolas.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com cultivo de produtos agrícolas.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a contaminação de produtos agrícolas.
<i>Descrição da Contramedida</i>	<p>Selecionar variedades adequadas de produtos agrícolas que acumulem níveis mais baixos do radionuclídeo contaminante do que a variedade normalmente cultivada na área.</p> <p>A seleção de variedades de plantas é uma das medidas mais efetivas, simples e baratas, que podem ser utilizadas a fim de reduzir a exposição devido a este tipo de contaminação.</p> <p>A seleção de produtos agrícolas alternativos, porém parecidos, os quais acumulem níveis mais baixos do radionuclídeo contaminante do que os produtos geralmente cultivados é o próximo passo da troca de variedades.</p> <p>Tal substituição de, por exemplo, um tubérculo por outro, é uma contramedida simples e comparativamente barata que é fácil de se aplicar e que causa pouco distúrbio para a comunidade fazendeira.</p>
<i>Alvo</i>	Produtos agrícolas contaminados.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada em pequena ou larga escala, dependendo do tamanho da área de cultivo dos produtos.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	O solo contaminado pode apresentar algumas limitações e pode não estar preparado para suportar certos produtos agrícolas.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Variável, porém pode alcançar reduções de três a cinco vezes nos níveis de contaminação em produtos agrícolas.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	<p>Depende da disponibilidade dos recursos e das necessidades impostas pela rotatividade de culturas.</p> <p>Quantidade e extensão da deposição.</p> <p>Quantidade de radioatividade residual.</p> <p>Espécies cultivadas e novas espécies a serem introduzidas.</p> <p>Fatores de transferência envolvidos.</p>
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo</i>	—
<i>Habilidades</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	O mercado a ser prejudicado pela interrupção de plantio de uma espécie. Mercado disponível para a nova espécie a ser cultivada.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Produtos agrícolas contaminados.

<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Tamanho da área utilizada em relação ao tipo de ambiente. Reduções alcançadas nos níveis de contaminação dos alimentos (Fatores de transferência envolvidos). Relevância dos produtos para a dieta da população.
<i>Dose Adicional</i>	Mudanças na irradiação externa das pessoas que vivem ou trabalham na área, Possível inalação do material de ressuspensão, Preferencialmente, a dose evitada deve ser considerada e não apenas a redução nas concentrações da atividade na cadeia alimentar.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Testado em países da antiga União Soviética afetados pelo acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, A7, P1, O1, A6.
<i>Comentários</i>	Este procedimento pode levar a poucas consequências sociais e econômicas.

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 24</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Seleção de produtos agrícolas que acumulam baixos níveis de radionuclídeos.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com cultivo de produtos agrícolas.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a contaminação de produtos agrícolas.
<i>Descrição da Contramedida</i>	As espécies vegetais variam consideravelmente na sua taxa de absorção de radionuclídeos do solo. Também, a distribuição de radionuclídeos entre as partes comestíveis e não-comestíveis variam. Por isso, mudar para produtos agrícolas que são botanicamente muito diferentes pode levar a reduções substanciais nos níveis de contaminação. Por exemplo, cereais podem ser cultivados em solos onde verduras seriam altamente contaminadas.
<i>Alvo</i>	Áreas agrícolas contaminadas.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio e estrôncio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada em pequena ou larga escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	O solo contaminado pode apresentar algumas limitações e pode não estar preparado para suportar certos produtos agrícolas ou utilizações do solo.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Variável, porém pode alcançar reduções de até oito vezes. Por exemplo, cultivar cereais em vez de vegetais folhosos forneceria reduções de até cinco vezes, uma vez que a absorção de radionuclídeos pelos grãos é baixa.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Para o radiocésio, os fatores médios de transferência solo-planta para diferentes produtos agrícolas cultivados no mesmo solo seguiriam a ordem: cereais < raízes < grama < tubérculos < sementes de leguminosas < verduras. Depende da disponibilidade dos recursos e dos requerimentos impostos pela rotação de cultura. Quantidade, natureza e extensão da deposição. Quantidade de radioatividade residual.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Produtos agrícolas contaminados.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande.

<i>Dose Adicional</i>	Preferencialmente, a dose evitada deve ser considerada e não apenas a redução nas concentrações da atividade na cadeia alimentar.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, A7, S4, A9.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 25</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Cultivo de produtos agrícolas comestíveis que possam ser processados.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com cultivo de produtos agrícolas.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a contaminação de produtos agrícolas.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Frequentemente, a refinação industrial remove muito da radioatividade antes que o produto final alcance a cadeia alimentar humana. Cultivar produtos agrícolas, tais como beterraba e oleaginosas, onde o produto comestível seja processado e a contaminação reduzida. Esta é uma contramedida potencialmente eficaz, a qual retém a utilização do solo na produção de alimentos. Entretanto, dados sobre este tipo de processo não estão sempre disponíveis.
<i>Alvo</i>	Produtos agrícolas contaminados.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, cézio, plutônio e amerício.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada em pequena ou larga escala.
<i>Via de Contaminação</i>	—
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Variável, de até um fator de 10 no produto final.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Quantidade, natureza e extensão da deposição. Quantidade de radioatividade residual. Tipo de processamento. Dieta da população.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Instalação para o processamento dos produtos.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Distâncias envolvidas e custo do processamento dos produtos; Tipo de produto e relevância para a dieta.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Tipo de solo; Tipo de produto cultivado; Tipo de processamento.
<i>Dose Adicional</i>	Cuidado deve ser tomado a fim de garantir que produtos de rejeitos altamente contaminados sejam utilizados seguramente. Por exemplo, fornecê-los como alimento para animais ruminantes pode ser inapropriado. Preferencialmente, a dose evitada deve ser considerada e não apenas a redução nas concentrações da atividade na cadeia alimentar.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, A7.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 26</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Interrupção na produção de alimentos e cultivo de produtos não-comestíveis.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com cultivo de produtos agrícolas.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a produção de alimentos contaminados.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Cessando a produção de alimentos no solo e cultivando produtos agrícolas para produtos não-comestíveis, tais como linho, algodão, plantas ornamentais ou sementes para óleo industrial, o solo pode continuar a ser cultivado. Produtos ornamentais podem ser cultivados apenas numa escala relativamente pequena. Quando grandes áreas são contaminadas, o crescimento de plantas, tais como linho, algodão ou colza deve ser preferido.
<i>Alvo</i>	Produtos agrícolas comestíveis contaminados.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, céσιο, plutônio e amerício.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada em pequena ou em larga escala. Dependendo do caso, não deve ser aplicada.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	O solo contaminado pode apresentar algumas limitações e pode não estar preparado para suportar certos produtos agrícolas ou utilizações do solo.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Antes da recomendação desta contramedida, é necessário assegurar que estes produtos não-alimentares não forneceriam exposição inaceitável à radiação e que há uma demanda do mercado por eles. Também, as facilidades do processamento devem ser possíveis a fim de descartar seguramente os materiais de rejeitos, os quais podem ser radioativos. Depende da disponibilidade dos recursos e dos requerimentos impostos pela rotação de cultura. Quantidade, natureza e extensão da deposição. Quantidade de radioatividade residual. Tipo de produto a ser cultivado.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Tipos de produtos envolvidos.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Produtos agrícolas contaminados.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Tamanho da área utilizada.
<i>Dose Adicional</i>	Mudanças na irradiação externa das pessoas que vivem ou trabalham na área, possível inalação do material de ressuspensão e reduções

	alcançadas nos níveis de contaminação dos alimentos. Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra, por exemplo, inalação de contaminantes e contaminação da pele/roupas, onde forem necessárias.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, A7.
<i>Comentários</i>	—



<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 27</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Utilização do solo contaminado para alguns tipos de animais sob condições específicas.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais cobertas por pasto.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a contaminação de leite e carne.
<i>Descrição da Contramedida</i>	<p>Utilizar solo contaminado para animais não-leiteiros ou para animais os quais não se pretende abater imediatamente.</p> <p>Onde o solo do pasto for contaminado e os suprimentos de forragem não-contaminada estiverem limitados, a forragem 'limpa' será utilizada para que as vacas leiteiras sejam alimentadas continuamente de forma que possa ser produzido um leite aceitável, e para o gado de corte a forragem "limpa" nos estágios finais de engorda.</p> <p>Após Chernobyl, a concentração de césio na carne do boi foi controlada por um programa de fases de alimentação, maximizando a utilização da forragem disponível enquanto se produzia carne de um nível de contaminação aceitável.</p> <p>O alimento mais contaminado foi fornecido precocemente na vida do animal, o nível de césio no alimento sendo gradualmente reduzido, causando uma redução concomitante no nível de césio no animal.</p> <p>O alimento menos contaminado foi retido para os estágios posteriores, com o intuito de reduzir os níveis de césio na carne para abaixo dos níveis de intervenção.</p>
<i>Alvo</i>	Animais que pastam.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou larga escala, dependendo do tamanho do pasto e da quantidade de gado.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Variável.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	<p>Depende da disponibilidade dos recursos requeridos.</p> <p>Quantidade, natureza e extensão da deposição.</p> <p>Quantidade de radioatividade residual.</p> <p>Quantidade de pasto não-contaminado e rigidez na sua utilização para alimentação do gado.</p> <p>Idade dos animais de interesse.</p>
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.

<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação, onde forem necessárias. Tamanho da área e tamanho do rebanho.
<i>Dose Adicional</i>	Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra, por exemplo, inalação de contaminantes e contaminação da pele/ roupas. Mudanças na irradiação externa das pessoas que vivem ou trabalham na área, possível inalação do material de ressuspensão e reduções alcançadas nos níveis de contaminação dos alimentos. Preferencialmente, a dose evitada deve ser considerada e não apenas a redução nas concentrações da atividade na cadeia alimentar.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Testado na Ucrânia, após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, A7, P2.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 28</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Pecuária</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Substituição de gado ovino ou caprino por bovino.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais cobertas por pasto.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a contaminação de leite e carne.
<i>Descrição da Contraceção</i>	Ruminantes pequenos, tais como os gados ovino e caprino geralmente acumulam mais altos níveis de radionuclídeos do que o gado bovino quando se alimentam do mesmo pasto. Por exemplo, níveis de radiocésio no leite e na carne podem ser de duas a cinco vezes mais altos. Entretanto, o rendimento pode ser reduzido quando a espécie é trocada, pois a infraestrutura e o conhecimento de práticas agrícolas provavelmente terão algumas deficiências. Também, pequenos ruminantes aproveitam melhor um pasto de baixa qualidade do que o gado bovino.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, césio, plutônio e amerício.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou larga escala, dependendo do tamanho do pasto e da quantidade de gado.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	O solo contaminado pode apresentar algumas limitações e pode não estar preparado para suportar certos tipos de animais.
<i>Eficácia da Contraceção</i>	Variável, com redução de até cinco vezes.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Em várias regiões, o gado bovino não estará disponível em número adequado. Depende da disponibilidade dos recursos requeridos. Quantidade, natureza e extensão da deposição. Quantidade de radioatividade residual.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Os produtos mais eficientes, julgados pelo ponto de vista da redução da transferência do radionuclídeo, podem não fornecer os melhores retornos econômicos.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Tipo, densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Tamanho da área.
<i>Dose Adicional</i>	Preferencialmente, a dose evitada deveria ser considerada e não apenas a redução nas concentrações da atividade na cadeia alimentar. Se os animais precisarem ser removidos do pasto, deve-se considerar a dose resultante nas pessoas responsáveis por remover o gado da área contaminada.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—

<i>Referências</i>	11, A7.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 29</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Mudança de produtos agrícolas aráveis para gado bovino.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais cobertas por pasto e com cultivo de produtos agrícolas.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a ingestão de alimentos contaminados.
<i>Descrição da Contramedida</i>	O solo altamente contaminado pode ser utilizado para animais que fornecem carne, contanto que a meia-vida biológica do radionuclídeo no animal seja curta o bastante para garantir que um período de alimentação 'limpa' antes do abate remova a maioria da contaminação.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, céσιο, plutônio e amerício.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou grande escala, dependendo do tamanho da área e da quantidade de gado.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente, ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Variável, de um fator de menos que 10 a 100, dependendo dos critérios utilizados.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Todas as medidas que requerem introdução de animais ou mudanças no tipo de animal são limitadas pela disponibilidade de animais alternativos. Depende da disponibilidade dos recursos requeridos. Quantidade, natureza e extensão da deposição. Quantidade de radioatividade residual.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Produtos agrícolas contaminados.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Tamanho da área utilizada e do rebanho.
<i>Dose Adicional</i>	Preferencialmente, a dose evitada deveria, pois, ser considerada do que apenas a redução nas concentrações da atividade na cadeia alimentar.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Principal Referência</i>	I1.
<i>Referências</i>	A7.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 30</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Áreas agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Mudança da utilização do solo para floresta.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais cobertas por pasto e/ou com cultivo de produtos agrícolas.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a dose externa na área e a ingestão de alimentos contaminados.
<i>Descrição da Contramedida</i>	A contaminação de produtos madeireiros é geralmente de aproximadamente duas ordens de grandeza mais baixa do que a contaminação de muitos produtos alimentares, e, para algumas aplicações, uma contaminação mais alta é tolerável do que no caso de produtos agrícolas comestíveis. Para radionuclídeos de meia-vida longa, tais como Sr-90 e Cs-137, o longo tempo de atraso entre o plantio de árvores e a colheita pode ter a vantagem de permitir um decaimento radioativo significativo.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam e produtos agrícolas contaminados.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, céσιο, plutônio e amerício.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada numa pequena ou grande escala, dependendo do tamanho da área de cultivo dos produtos e do pasto.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados e de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa. Dependendo do caso, não deve ser aplicada.
<i>Restrições técnicas</i>	O solo contaminado pode apresentar algumas limitações e pode não estar preparado para suportar certos tipos de utilizações do solo.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	O atraso substancial entre o plantio de árvores e a colheita de muitos anos antes que qualquer retorno econômico seja derivado do solo, é uma desvantagem. Depende da disponibilidade dos recursos requeridos. Quantidade, natureza e extensão da deposição. Quantidade de radioatividade residual.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Os potenciais custos sociais e econômicos da conversão de um sistema agrícola arável ou pecuarista para uma floresta são altos.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Pasto e/ ou produtos agrícolas contaminados.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Tamanho da área utilizada em relação ao tipo de ambiente.
<i>Dose Adicional</i>	Mudanças padrão de exposição das pessoas que vivem ou trabalham na área.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, A7.
<i>Comentários</i>	Este tipo de mudança no solo deveria ser considerado apenas quando

	<p>ele está altamente contaminado de tal forma que uma futura utilização agrícola, até mesmo com contramedidas apropriadas, não será mais possível.</p> <p>O acesso e a utilização da floresta podem precisar de um controle cuidadoso, dependendo do nível de contaminação.</p>
--	--

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 31</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Alimentos</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso (banimento)</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Proibição de caça, de pesca e de consumo de vegetais e água de superfície.</b>
<i>Superfície</i>	Florestas, bosques, lagos, lagoas, rios e praias próximos a áreas rurais.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a dose externa na área e a ingestão de alimentos contaminados.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Caça, peixe e vegetais podem conter níveis particularmente altos de alguns radionuclídeos, e na ausência de informação sobre os níveis de contaminação, a proibição pode ser uma medida eficaz a curto prazo.
<i>Alvo</i>	Produtos agrícolas, alimentos diversos e água contaminados.
<i>Radionuclídeos</i>	Iodo.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em ampla escala, abrangendo até mesmo municípios próximos à fonte de contaminação.
<i>Via de Contaminação</i>	—
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados, de leite, carne e outros produtos provenientes de animais contaminados, ingestão de vegetais contaminados e ingestão de água contaminada.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada durante as primeiras semanas após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	Pode haver problemas no fornecimento de comida alternativa e de água. Esta seria uma contramedida socialmente tumultuosa onde o produto for um componente importante da dieta.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Depende dos hábitos locais.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Rigidez na fiscalização quanto ao cumprimento da proibição das atividades.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	Pode ser aplicada por um grande número de fazendeiros com pouca instrução.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Esta poderia ser uma contramedida cara onde tal produto for um componente importante da dieta.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade da população e padrão de comportamento. Idade das pessoas expostas. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Tempo e quantidade de precipitação durante/ desde a contaminação.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referência</i>	11.
<i>Comentários</i>	—



<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 32</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Culturas Agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso (data)</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Colheita de produtos agrícolas maduros.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com cultivo de produtos agrícolas.
<i>Objetivo</i>	Evitar a contaminação direta de produtos agrícolas.
<i>Descrição da Contramedida</i>	A contaminação radioativa de produtos agrícolas pode ser evitada através da colheita de todos os produtos maduros não-subterrâneos antes da ocorrência da contaminação. Logo após a contaminação pode ser também eficiente para grão e produtos em que a casca pode ser removida.
<i>Alvo</i>	Produtos agrícolas contaminados.
<i>Radionuclídeos</i>	Iodo; logo após a deposição, pode ser também adequada para outros nuclídeos de translocação lenta.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em larga grande escala, contanto que a colheita seja feita rapidamente.
<i>Via de Contaminação</i>	—
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada antes e durante a chegada da deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	A dose dos trabalhadores expostos à pluma deve ser considerada.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Praticamente 100%, porém os recursos podem não estar disponíveis.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Momento de aplicação da contramedida. Estágio de crescimento dos produtos. Duração da colheita. Distância entre o local de cultivo e a fonte de contaminação. Composição da nuvem de deposição e taxa de deposição dos radionuclídeos.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Os agricultores devem dar preferência à colheita de produtos de mais alto valor econômico.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores durante a passagem da pluma.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, W5.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 33</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Culturas Agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Evitar contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Recobrimento de áreas cultivadas com capa impermeável a água.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com cultivo de produtos agrícolas.
<i>Objetivo</i>	Evitar a contaminação direta de produtos agrícolas.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Cobrir áreas com plástico ou outro tipo de capa.
<i>Alvo</i>	Produtos agrícolas.
<i>Radionuclídeos</i>	Iodo e outros radionuclídeos.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou grande escala, sendo que, nesta última, a aplicação da contramedida pode ser cara.
<i>Via de Contaminação</i>	—
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada antes e durante a chegada da deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	Disponibilidade de material de cobertura adequado.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Praticamente 100%, porém os recursos podem não estar disponíveis.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Momento de aplicação da contramedida. Distância entre o local de cultivo e a fonte de contaminação. Composição da nuvem de deposição e taxa de deposição dos radionuclídeos. Disponibilidade de um material adequado de cobertura.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	A proteção dos trabalhadores em relação à exposição à pluma deve ser considerada.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Material de cobertura (p. ex., de plástico ou de cera) dos produtos agrícolas.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores. Tamanho da área utilizada em relação ao tipo de ambiente. Tempo e quantidade de precipitação durante/ desde a contaminação.
<i>Dose Adicional</i>	Exposição dos trabalhadores à pluma.
<i>Outros Impactos</i>	Pode haver efeitos prejudiciais nos produtos agrícolas, particularmente em climas quentes.
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, W5.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 34</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Culturas Agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso (descarte/estocagem)</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Colheita de produtos agrícolas e de grama para descarte ou estocagem.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais cobertas por pasto e com cultivo de produtos agrícolas.
<i>Objetivo</i>	Evitar a contaminação de leite e carne Evitar a contaminação direta de produtos agrícolas Reduzir a dose por ingestão.
<i>Descrição da Contraindicada</i>	Produtos agrícolas e grama de pasto colhidos o mais cedo possível, logo após a deposição, podem ser ou destruídos ou armazenados, a fim de permitir que radionuclídeos de meia-vida curta (por ex., I-131) decaiam. Dependendo dos níveis de contaminação, o alimento colhido pode ser fornecido para gados com ligantes químicos adicionados a fim de impedir a absorção, ou utilizado para alimentar determinados tipos de animais. Produtos agrícolas podem também ser descontaminados por um processamento apropriado de alimentos. Também os cereais podem ser utilizados para a produção de álcool, ou, em alguns casos, podem ser guardados para semear.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam e produtos agrícolas contaminados.
<i>Radionuclídeos</i>	Iodo.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou grande escala, dependendo do tamanho do pasto, da quantidade de gado e do local de armazenamento dos produtos, contanto que os recursos estejam prontamente disponíveis.
<i>Via de Contaminação</i>	Ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado. Ingestão de produtos contaminados por deposição.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados e de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada durante as primeiras semanas após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contraindicada</i>	O principal fator determinante da eficácia será o intervalo entre a deposição e a colheita. Além disso, a eficácia da remoção da radioatividade no ambiente depende da proporção que foi interceptada pela vegetação e da taxa na qual ela é perdida (intemperismo). A interceptação inicial depende de fatores tais como a biomassa por unidade de área, a cobertura total fornecida pela vegetação e características físicas da folhagem. Para produtos agrícolas, cerca de 25-50% da contaminação depositada pode frequentemente ser removida por meio da colheita da vegetação, porém a remoção pode alcançar cerca de 80% no caso de haver uma cobertura densa do solo.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tempo e extensão da deposição, Estágio de crescimento do produto agrícola. A subsequente utilização do material colhido. Disponibilidade de mão de obra.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	Pode ser aplicada por um grande número de fazendeiros com pouca instrução.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—

<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Variável, dependendo da densidade foliar no momento da deposição.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Pasto e/ ou produtos agrícolas contaminados.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger os trabalhadores. Tempo e quantidade de precipitação durante/desde a contaminação.
<i>Dose Adicional</i>	Deve-se tomar cuidado com as pessoas responsáveis por remover o pasto e os produtos agrícolas, a fim de que elas não sejam expostas à ressuspensão da radioatividade depositada nos vegetais e/ ou à dose externa. Nem todos os tipos de proteção respiratória serão muito eficientes para partículas pequenas.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, S3, C2, V1.
<i>Comentários</i>	A remoção da vegetação do pasto pode ser contemplada somente se um alimento alternativo estiver disponível.

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 35</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Culturas Agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso (data)</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Atraso na colheita de forragem/ produtos agrícolas.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais cobertas por pasto e com cultivo de produtos agrícolas.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a contaminação de produtos agropecuários.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Se a deposição ocorrer bem antes do tempo normal de colheita, seria aconselhável atrasar a colheita, a fim de permitir reduções na contaminação do radionuclídeo através do intemperismo e da diluição do crescimento. Perdas de radionuclídeos depositados na superfície poderiam até mesmo ser intensificadas pela utilização de chuva simulada ou de irrigação em spray para remover a contaminação.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam e produtos agrícolas contaminados.
<i>Radionuclídeos</i>	Iodo e outros radionuclídeos.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou larga escala, dependendo do tamanho do pasto, da quantidade de gado e de produtos agrícolas, contanto que os recursos estejam prontamente disponíveis.
<i>Via de Contaminação</i>	Para radionuclídeos de meia-vida longa, embora uma parte do material depositado vá ser absorvido pela planta, uma fração importante vai ser transferida para o solo, levando a um aumento da absorção pela raiz e consequente ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado, a longo prazo.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados e de leite e de carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada durante as primeiras semanas após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	Época do ano em que ocorre a contaminação. Estágio de crescimento dos vegetais.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Depende do atraso que seja possível alcançar, sem perda de qualidade para aproveitamento dos produtos.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Quantidade, natureza e extensão da deposição. Quantidade de radioatividade residual. Momento e duração da colheita.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	Pode ser aplicada por um grande número de fazendeiros com pouca instrução.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Lavar a contaminação através de uma chuva simulada ou de uma irrigação por cima pode contaminar o solo, e isto pode levar a um problema maior a longo prazo.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Idade das pessoas expostas. Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores, se necessário. Tempo e quantidade de precipitação durante/ desde a contaminação.
<i>Dose Adicional</i>	Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra, por exemplo, inalação de contaminantes e contaminação da pele/ roupas, onde forem necessárias.

<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, V3.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 36</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Alimento de animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Suspender o uso de soro de leite contaminado na alimentação de porcos.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com criação de suínos.
<i>Objetivo</i>	Evitar que os animais comam alimentos altamente contaminados.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Soro de leite e seus derivados podem estar altamente contaminados por céσιο e estrôncio. É, portanto, indesejável alimentar porcos com estes produtos, a não ser que um ligante químico seja adicionado a fim de impedir a absorção do radionuclídeo no intestino.
<i>Alvo</i>	Porcos.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Ingestão de soro contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de carne e miúdos provenientes de porcos contaminados pelo soro.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Idade dos animais. Quantidade de radioatividade residual no soro de leite. Depende dos resultados do monitoramento de leite e de animais.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Alimento alternativo de conteúdo nutritivo similar ao soro do leite.
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Soro de leite.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	Cuidado deve ser tomado a fim de garantir que produtos de rejeitos altamente contaminados sejam utilizados seguramente.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4, H5.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 37</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Alimento de animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de prática</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aumento da altura do corte durante a colheita da forragem.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais cobertas por pasto.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a dose por ingestão de alimentos provenientes de gado.
<i>Descrição da Contramedida</i>	O aumento da altura do corte da forragem, incluindo capim, silagem, feno e grãos evita a colheita das partes inferiores de plantas as quais podem possuir um solo altamente contaminado aderido à superfície.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto e solo contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa, porém esta contramedida seria mais útil no primeiro ano após a deposição.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Foi observada uma redução de 3 vezes nas concentrações de Cs-137 e de até 9 vezes nas concentrações de I-131 no leite de vacas alimentadas com forragem colhida em diferentes alturas de corte. Uma redução menor pode ser esperada para grãos.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo e idade do gado (espécies animais). Estágio de crescimento do pasto no momento da deposição. Extensão e taxa de deposição dos radionuclídeos. Quantidade de radioatividade residual Sem o monitoramento da contaminação, a eficácia não é conhecida para nenhuma situação particular. Depende dos resultados do monitoramento de leite e de animais.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Pasto contaminado.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	—
<i>Dose Adicional</i>	Deve ser considerada a dose das pessoas responsáveis por remover o pasto, a fim de que elas não sejam expostas à ressuspensão da radioatividade depositada nos vegetais e/ ou à dose externa.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Principal Referência</i>	—
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4, H5, B2, S5.
<i>Comentários</i>	—



<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 38</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais que pastam</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de prática</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Impedimento da ingestão de vegetação contaminada por animais que pastam.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais cobertas por pasto.
<i>Objetivo</i>	Evitar a contaminação de produtos derivados de animais que pastam (leite, carne e miúdos).
<i>Descrição da Contramedida</i>	Impedir o retorno de animais alojados para o pasto, levá-los para um outro local distante da contaminação e misturar o alimento contaminado com forragem não-contaminada. Estábulos são necessários, porém se eles não estiverem disponíveis, seria possível confinar os animais a áreas pequenas e cercadas a fim de limitar seu acesso ao pasto, enquanto se fornece a eles alimento não-contaminado.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam.
<i>Radionuclídeos</i>	Se introduzida a tempo, iodo. A médio e a longo prazos, reduz a contaminação por outros radionuclídeos.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou larga escala, dependendo do tamanho do pasto, do tamanho do rebanho e da disponibilidade de forragem não contaminada.
<i>Via de Contaminação</i>	Ingestão, por parte do gado, de pasto e solo contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite, carne e miúdos provenientes de animais que pastam.
<i>Momento de Aplicação</i>	Como contramedida a curto prazo, pode diminuir altos níveis de I-131; deve ser aplicada antes e durante a chegada da deposição radioativa. Também pode ser aplicada como uma contramedida de médio a longo prazos, para redução da contaminação por outros radionuclídeos.
<i>Restrições técnicas</i>	Disponibilidade de área cercada e de forragem não contaminada.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Alta, até 100%.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tempo de aplicação da contramedida. Duração da remoção do gado. Distância entre o pasto e a fonte de contaminação. Composição da nuvem de deposição e taxa de deposição dos radionuclídeos. A disponibilidade de forragem não-contaminada e estocada variará de acordo com a estação, e pode ser limitada.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Equipamentos de transporte normais em fazendas.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Alimento não contaminado, Cercas.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Manejo e alimentação de gado.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Distâncias envolvidas. Custo de forragem não contaminada
<i>Precauções de Segurança</i>	As doses ocupacionais para transferência do gado devem ser consideradas.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Variável.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Pasto contaminado.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade de animais e padrão de comportamento. Idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação, onde forem necessárias.

	Tempo e quantidade de precipitação durante/ desde a contaminação.
<i>Dose Adicional</i>	Se os animais precisarem ser removidos do pasto, deve-se considerar a dose resultante nas pessoas responsáveis por remover o gado da área contaminada. Particularmente imediatamente após a deposição, doses de inalação aumentadas podem ser recebidas a partir de partículas ressuspensas. Nem todos os tipos de proteção respiratória serão muito eficientes para partículas pequenas.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Testado na Ucrânia e em países contaminados pelo acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, W5, P1, P2.
<i>Comentários</i>	Se possível, não se deve fornecer água da chuva ou água da superfície aos animais.

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 39</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de prática</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Remoção de animais em áreas contaminadas e/ou fornecimento de alimentos não-contaminados.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais cobertas por pasto.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a dose por ingestão de alimentos provenientes de gado.
<i>Descrição da Contraceção</i>	Fornecer alimento não-contaminado para animais ou movê-los para áreas não-contaminadas. Impedir que os animais pastem, mantendo-os dentro de instalações ou em áreas cercadas. A substituição de alimentos contaminados é simples de ser realizada para a maioria dos animais domésticos. Em sistemas onde os animais são normalmente alojados, os alimentos estocados estão geralmente disponíveis.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam.
<i>Radionuclídeos</i>	Principalmente césio, estrôncio e iodo.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou larga escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contraceção</i>	Alta, até 100%.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo e idade do gado (espécies animais). Duração da remoção do gado. Distância entre o pasto e a fonte de contaminação. Composição da nuvem de deposição e taxa de deposição dos radionuclídeos. Taxa de absorção pelo sistema solo-planta. A substituição de alimento contaminado é mais difícil em ecossistemas seminaturais, particularmente durante períodos mais longos. Uma desvantagem é que os alimentos são utilizados conforme se pretende utilizá-los em outras épocas do ano. Em áreas intensivamente cultivadas, a disponibilidade de solo não-contaminado para a pastagem pode ser limitada, particularmente se os animais habitualmente pastam nas áreas externas.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Pasto contaminado.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade de animais e padrão de comportamento. Idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação, onde forem necessárias.
<i>Dose Adicional</i>	Se os animais precisarem ser removidos do pasto, deve-se considerar a

	dose resultante nas pessoas responsáveis por remover o gado da área contaminada.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4.
<i>Comentários</i>	Se possível, não se deve fornecer água da chuva ou água da superfície aos animais.

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 40</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Desvio de produtos animais do consumo humano para o consumo animal.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais cobertas por pasto.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a dose por ingestão de alimentos provenientes de gado.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Carne contaminada pode ser incorporada nos alimentos dos animais, em combinação com os ligantes químicos, para alimentar o gado que não se pretende abater no futuro próximo.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam.
<i>Radionuclídeos</i>	Principalmente céσιο, estrôncio e iodo.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada em pequena ou larga escala.
<i>Via de Contaminação</i>	—
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo e idade do gado (espécies animais). Depende da disponibilidade dos recursos. Tempo e rigidez da aplicação dos ligantes químicos nos animais que se alimentarão da carne contaminada.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 41</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Solos agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Cultivo de produtos de forragem com baixa tendência para contaminação.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais cobertas por pasto.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a dose por ingestão de alimentos provenientes de gado.
<i>Descrição da Contraindicada</i>	Gramíneas perenes e leguminosas tendem a ser mais contaminadas do que cereais, tubérculos e raízes.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam.
<i>Radionuclídeos</i>	Principalmente césio, estrôncio e iodo.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	O solo contaminado pode apresentar algumas limitações e pode não estar preparado para suportar certos produtos agrícolas.
<i>Eficácia da Contraindicada</i>	O cultivo de produtos recentes para forragem pode reduzir a transferência total do solo para os produtos animais (em até cinco a dez vezes).
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo e idade do gado (espécies animais). Distância entre o pasto e a fonte de contaminação. Composição da nuvem de deposição, extensão e taxa de deposição dos radionuclídeos. Quantidade de radioatividade residual. Taxa de absorção pelo sistema solo-planta. Depende da disponibilidade dos recursos e dos requerimentos impostos pela rotação de culturas.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Pasto contaminado.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação, onde forem necessárias.
<i>Dose Adicional</i>	Preferencialmente, a dose evitada deve ser considerada e não apenas a redução nas concentrações da atividade na cadeia alimentar. Influenciada pelas medidas tomadas a fim de proteger operadores contra inalação e contaminação da pele/ roupas.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Foi extensivamente utilizado em países da antiga União Soviética desde o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4, P2.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 42</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de prática</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Abate imediato antes e/ou logo após a deposição.</b>
<i>Superfície</i>	Animais.
<i>Objetivo</i>	Mudança no tempo de abate a fim de reduzir os níveis de contaminação em animais.
<i>Descrição da Contramedida</i>	O abate imediato pode ser aconselhável porque os níveis de céσιο na carne se elevam em animais por diversas semanas após a deposição. Medições dos níveis do radiocésio devem ser feitas com o intuito de evitar o abate de animais altamente contaminados.
<i>Alvo</i>	Animais que vão ser abatidos.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala.
<i>Via de Contaminação</i>	—
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada antes e durante a chegada da deposição radioativa ou durante as primeiras semanas após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo e idade do gado (espécies animais). Extensão e taxa de deposição dos radionuclídeos. Capacidade do abatedouro e instalações de armazenamento. Depende da disponibilidade dos recursos requeridos. Depende dos resultados do monitoramento de leite e de animais.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	O valor econômico da carne pode ser reduzido pelo abate prematuro.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	Depende da utilização da roupa de proteção. Se os animais precisarem ser removidos do pasto, deve-se considerar a dose resultante nas pessoas responsáveis por remover o gado da área contaminada.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4, H5, S5.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 43</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de prática (data)</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Atraso no abate após a deposição.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com gado de corte.
<i>Objetivo</i>	Mudança no tempo de abate a fim de reduzir os níveis de contaminação em animais.
<i>Descrição da Contramedida</i>	O atraso do abate permite a redução da absorção do céσιο através do intemperismo natural e dos processos de aderência. A diluição da atividade pelo crescimento do produto agrícola reduzirá consideravelmente as concentrações de céσιο quando a deposição ocorrer durante períodos de crescimento ativo da planta. Outras contramedidas podem ser aplicadas a fim de acelerar a taxa da perda do radionuclídeo.
<i>Alvo</i>	Animais que pastam.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala.
<i>Via de Contaminação</i>	Possivelmente absorção pela raiz e ingestão, por parte do gado, de pasto contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tipo e idade do gado (espécies animais). Extensão e taxa de deposição dos radionuclídeos. Quantidade de radioatividade residual. Estágio de crescimento do pasto. Taxa de absorção pelo sistema solo-planta. Depende da disponibilidade dos recursos requeridos. Depende dos resultados do monitoramento de leite e de animais.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	Depende da utilização da roupa de proteção. Se os animais precisarem ser removidos do pasto, deve-se considerar a dose resultante nas pessoas responsáveis por remover o gado da área contaminada.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4, H5, S5.
<i>Comentários</i>	—



<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 44</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de prática (data)</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Mudança no tempo de abate para uma estação específica do ano.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com gado de corte e áreas com animais silvestres.
<i>Objetivo</i>	Mudança no tempo de abate a fim de reduzir os níveis de contaminação em animais.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Esta medida deve ser aplicada em estações do ano em que os níveis na carne sejam baixos ou em que os níveis de pico de atividade podem ser evitados. É aplicável em animais de caça com hábitos alimentares sazonais. Por exemplo, no outono, alguns animais comem grandes quantidades de cogumelos ou líquens que podem estar altamente contaminados. Após o acidente de Chernobyl, corças capturadas no outono possuíam níveis de radiocésio nas carcaças de até cinco vezes mais altos do que as capturadas na primavera.
<i>Alvo</i>	Animais silvestres e gado de corte.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala.
<i>Via de Contaminação</i>	—
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de carne e miúdos provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Esta contramedida requer um conhecimento acurado da variação sazonal em hábitos alimentares e em níveis de contaminação para cada espécie animal. Tipo e idade dos animais (espécies). Extensão e taxa de deposição dos radionuclídeos. Quantidade de radioatividade residual. Depende dos resultados do monitoramento ambiental.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Matar em momentos incomuns pode reduzir a palatabilidade da carne e do peso da carcaça, e isso pode reduzir o retorno econômico.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Tamanho da área utilizada e tipo de ambiente. Tempo e quantidade de precipitação durante/ desde a contaminação.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Realizado após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4, H5, J2.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 45</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso (alimentação)</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Impedimento da ingestão de solo contaminado por animais que ciscam.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com animais que ciscam criados soltos.
<i>Objetivo</i>	Evitar a contaminação de produtos derivados de animais que ciscam (carne e ovos).
<i>Descrição da Contramedida</i>	Levar os animais para um outro local distante da contaminação ou confinar os animais em áreas pequenas contendo solo não contaminado e cercadas, a fim de limitar seu acesso a solo contaminado, enquanto se fornece a eles alimento não-contaminado.
<i>Alvo</i>	Animais que ciscam.
<i>Radionuclídeos</i>	Se introduzida a tempo, iodo. A médio e longo prazos, reduz a contaminação por outros radionuclídeos (Cs-137).
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou larga escala, dependendo do número de animais e da disponibilidade de área para confinamento e alimento não contaminado.
<i>Via de Contaminação</i>	Ingestão, por parte das aves, de solo contaminado.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de carne e ovos de animais que ciscam.
<i>Momento de Aplicação</i>	Como contramedida a curto prazo, pode diminuir altos níveis de I-131; deve ser aplicada antes e durante a chegada da deposição radioativa. Também pode ser aplicada como uma contramedida de médio a longo prazos, para redução da contaminação por outros radionuclídeos.
<i>Restrições técnicas</i>	Disponibilidade de área cercada e de alimento não contaminado.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Alta, dependendo do alimento fornecido aos animais confinados.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tempo de aplicação da contramedida. Composição da nuvem de deposição e taxa de deposição dos radionuclídeos.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Alimento não contaminado. Cercas adequadas.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Manejo e alimentação de aves.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	—
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade de animais e padrão de comportamento. Idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação, onde forem necessárias.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	O efeito do solo contaminado na contaminação de carne e ovos de galinhas foi avaliado após o acidente de Goiânia (Cs-137).
<i>Referências</i>	A9.
<i>Comentários</i>	Se possível, não se deve fornecer água da chuva ou água da superfície

	aos animais.
--	--------------

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 46</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Culturas Agrícolas</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Evitar contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Recobrimento de produtos agrícolas com capa impermeável a água.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com cultivo de produtos agrícolas.
<i>Objetivo</i>	Evitar a contaminação direta de produtos agrícolas.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Cobrir depósitos de alimentos descobertos com capa de plástico ou encerada.
<i>Alvo</i>	Produtos agrícolas coletados.
<i>Radionuclídeos</i>	Iodo.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em pequena ou larga escala, dependendo do tamanho do local de armazenamento dos produtos.
<i>Via de Contaminação</i>	Deposição direta em alimentos.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de produtos agrícolas contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada antes e durante a chegada da deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Praticamente 100%. O cobrimento é provavelmente mais eficaz para deposição úmida.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Momento de aplicação da contramedida. Distância entre o local de armazenamento dos produtos agrícolas e a fonte de contaminação. Composição da nuvem de deposição e taxa de deposição dos radionuclídeos. Disponibilidade de uma cobertura adequada.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Lona plástica ou encerados de dimensões adequadas.
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	A exposição de trabalhadores à pluma contaminada deve ser levada em conta.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Material de cobertura (p. ex., de plástico ou encerado).
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Medidas tomadas a fim de proteger operadores contra a inalação, onde forem necessárias. Tamanho da área utilizada em relação ao tipo de ambiente. Tempo e quantidade de precipitação durante/ desde a contaminação.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, W5.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 47</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Leite</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Alteração de uso (processamento)</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Processamento de leite contaminado para produtos estocáveis.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas de criação de gado leiteiro.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a contaminação do leite.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Utilizar leite para produzir manteiga, leite em pó desnatado, queijo e outros produtos que podem ser armazenados, a fim de permitir o decaimento do I-131 antes do consumo.
<i>Alvo</i>	Leite contaminado.
<i>Radionuclídeos</i>	Especificamente iodo.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada em ampla escala, se os recursos estiverem disponíveis. Este método não é aplicável quando o leite também está contaminado significativamente com césio, estrôncio e outros radionuclídeos de meia-vida longa.
<i>Via de Contaminação</i>	Nenhuma.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão do leite contaminado.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada durante as primeiras semanas após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	Contaminação significativa por outros radionuclídeos.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Tempo de estocagem do produto processado. Quantidade de radioatividade residual.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	Pode ser aplicada por um grande número de fazendeiros com pouca instrução.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Quantidade de animais expostos. Consistência em realizar o procedimento. Momento de aplicação da medida e tempo de estocagem do produto. Contaminação por outros radionuclídeos.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	—
<i>Referências</i>	I1, J4, L3, P1.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>RURAL</b>	<b>No. 48</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Animais</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Controle por monitoração</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Monitoração dos animais.</b>
<i>Superfície</i>	Animais.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a dose por ingestão de alimentos provenientes de gado.
<i>Descrição da Contraceção</i>	A monitoração ao vivo pode ser utilizada tanto em abatedouros, como em fazendas, a fim de identificar animais que devem ser nutridos com alimento não-contaminado por um período antes do abate. É eficaz e evita o abate de animais altamente contaminados. Esta metodologia de medição do céσιο em animais vivos é relativamente fácil e rápido de ser executado, utilizando monitores de iodeto de sódio manipulados manualmente.
<i>Alvo</i>	Animais que vão ser abatidos.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser aplicada numa pequena ou grande escala.
<i>Via de Contaminação</i>	—
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de leite e carne provenientes de animais contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a curto, a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contraceção</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Natureza do céσιο presente no ambiente. Tipo e idade do gado (espécies animais). Extensão e taxa de deposição dos radionuclídeos.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Monitores de iodeto de sódio (para céσιο).
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Uma proteção adequada dos monitores é necessária em áreas altamente contaminadas.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Requer mão de obra semiqualficada.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade e idade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	Depende da utilização da roupa de proteção. Se os animais precisarem ser removidos do pasto, deve-se considerar a dose resultante nas pessoas responsáveis por remover o gado da área contaminada.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	A técnica de monitoramento ao vivo tem sido amplamente utilizada com bons resultados após o acidente de Chernobyl, tanto nas três repúblicas originais afetadas quanto em alguns países do oeste europeu.
<i>Referências</i>	I1, I2, W2, I1, C4, B3, H6, H4, H5, B2, S5, F2.
<i>Comentários</i>	—



**PARTE 3**

**AMBIENTES AQUÁTICOS**





<b>Tipo de área</b>	<b>AMBIENTES AQUÁTICOS</b>	<b>No. 01</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Rios e corpos d'água utilizados para abastecimento público</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Abastecimento alternativo.</b>
<i>Superfície</i>	Rios e corpos d'água utilizados para abastecimento de água para a população.
<i>Objetivo</i>	Reduzir doses para o consumidor através do fornecimento de água potável quando o nível de contaminação no abastecimento regular é maior que o nível de ação.
<i>Descrição da Contramedida</i>	<p>Se o nível da contaminação radioativa na água de abastecimento doméstico for considerada inapropriada para o consumo público, a utilização de um abastecimento pode ser interrompido e uma fonte alternativa deve ser providenciada. O abastecimento de água pode ser totalmente interrompido ou as pessoas podem ser avisadas para não utilizarem a água para beber e para cozinhar, mas elas podem continuar a utilizá-la para outros fins. Neste caso, um abastecimento alternativo de água potável deve ser providenciado apenas para consumo direto. Deve ser observado que a interrupção total do abastecimento de água envolve questões significativas de saúde pública e deve ser realizada apenas em casos em que seja absolutamente necessária.</p> <p>Para aqueles com abastecimentos públicos de água, a medida envolverá provavelmente o fornecimento de água potável via carros-pipa (ou outros veículos especiais) ou água de beber engarrafadas. No entanto, a água engarrafada é provavelmente apenas uma opção como abastecimento alternativo quando somente um número pequeno de consumidores forem afetados.</p> <p>Esta opção também é aplicável para aqueles com abastecimentos privados de água, embora, em alguns casos, seja possível também conectá-los a um abastecimento público de água.</p> <p>Esta opção precisará ser apoiada por um monitoramento do abastecimento de água contaminada.</p>
<i>Alvo</i>	Água que se pretende utilizar como água de beber.
<i>Radionuclídeos</i>	Esta medida é eficaz para todos os radionuclídeos, porém será mais viável para os de meia-vida curta.
<i>Escala de Aplicação</i>	Água suficiente (10 litros por pessoa por dia) precisa ser abastecida para todos que foram afetados pela perda de seu abastecimento regular, caso o abastecimento de água seja totalmente interrompido.
<i>Via de Contaminação</i>	Água potável.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição interna a partir da ingestão de água ou de comida preparada com a água contaminada.
<i>Momento de Aplicação</i>	É importante que um abastecimento alternativo seja providenciado logo que possível, tanto para evitar o fornecimento de água contaminada para os consumidores quanto para garantir que todos os consumidores recebam suficiente água potável. Deve ser observado que pode levar alguns dias para que se organize o abastecimento alternativo, dependendo do tamanho da área afetada e dos recursos disponíveis. Entretanto, se os consumidores possuírem coletores de água de chuva, eles poderiam ser avisados para ferver a água contida nesses reservatórios para utilizá-la como água de beber ou para a preparação de comida, a fim de matar bactérias. A fervura não altera o conteúdo do radionuclídeos na água.
<i>Restrições técnicas</i>	<p>A água de beber distribuída a partir de um abastecimento alternativo deve estar em conformidade com os mesmos padrões de qualidade exigidos dos abastecimentos regulares.</p> <p>Deve ser previsto um consumo mínimo de 10 litros de água potável por</p>

	<p>pessoa por dia.</p> <p>O fornecimento de um abastecimento alternativo em áreas remotas do país pode ser difícil, especialmente a curto prazo.</p> <p>Condições meteorológicas severas, inclusive secas, também podem afetar o fornecimento de água de beber a partir de um abastecimento alternativo.</p>
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Qualquer água de beber fornecida a partir de abastecimento alternativo deve conter níveis de contaminação abaixo dos níveis de ação. A eficácia da contramedida dependerá do nível de contaminação tanto no abastecimento original quanto no alternativo.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	—
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Carros-pipa (nível alimentar) ou veículos para armazenar água. Veículos para rebocar os carros-pipa ou afins ou para distribuir água de beber engarrafada.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Combustível para os veículos. Fonte alternativa de água potável.
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Número de carros-pipa/tanques e veículos requeridos para a entrega de acordo com o número de pessoas afetadas. Duração da necessidade de um abastecimento alternativo. Distância da fonte alternativa de água
<i>Precauções de Segurança</i>	O fornecimento de uma equipe de segurança pode ser necessário para lidar com a segurança e a distribuição ordenada de água a partir de um abastecimento alternativo.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Conteúdo de água presente num abastecimento.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Água contaminada a partir de um abastecimento interrompido.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Esta opção evitará aproximadamente 100% da dose para o consumidor, contanto que o abastecimento regular seja interrompido, assumindo que o abastecimento alternativo não esteja contaminado.
<i>Dose Adicional</i>	Trabalhadores que entram numa área contaminada para entregar abastecimentos alternativos podem receber doses externas adicionais. O descarte de água contaminada também pode aumentar as doses adicionais aos trabalhadores. As doses a essas pessoas devem ser avaliadas e controladas, quando necessário.
<i>Outros Impactos</i>	Aceitação do descarte da água de rejeito para o sistema público de esgoto.
<i>Experiência Prática</i>	Companhias de Água possuem experiência no fornecimento de abastecimentos alternativos. Entretanto, não há uma evidência disponível de qualquer experiência prática de fornecimento de abastecimentos alternativos a fim de reduzir especificamente a contaminação radioativa na água de beber.
<i>Referências-Chave</i>	N3.
<i>Comentários</i>	A não ser que um abastecimento alternativo abundante e regular de água de beber seja providenciado, pode haver incidentes de inquietação civil. Inclusive, se a água da fonte continuar a ser utilizada para outras finalidades, tais como banheiros e lavagem, pode causar uma grande preocupação pública. Pode causar mal-estar por achar que viver numa área onde há fornecimento alternativo de abastecimento de água não seja seguro, até mesmo se os níveis de contaminação forem baixos.

<b>Tipo de área</b>	<b>AMBIENTES AQUÁTICOS</b>	<b>No. 02</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Rios e corpos d'água utilizados para abastecimento público</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Tratamento de água.</b>
<i>Superfície</i>	Rios e corpos d'água utilizados para abastecimento de água para a população.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a dose de ingestão a partir do consumo de água contaminada.
<i>Descrição da Contramedida</i>	A água é monitorada após o tratamento. Se o monitoramento indicar que as concentrações radioativas estão acima dos Níveis de Ação, será possível implementar tratamentos de água adicionais ou alternativos a fim de reduzir o nível de contaminação abaixo dos Níveis de Ação. A água de abastecimentos públicos é obtida somente a partir de água subterrânea e de superfície de boa qualidade. O abastecimento público de água passa por uma estação de tratamento de água antes de ser entregue ao consumidor. Dentro desta estação, a água é submetida a uma série de tratamentos a fim de garantir que os padrões de qualidade de água sejam alcançados. Alguns dos tratamentos utilizados são eficazes na remoção de alguns radionuclídeos. Dependendo da fonte da água e dos contaminantes não-radioativos possivelmente presentes na água, ela pode ser submetida a um ou mais dos seguintes tratamentos, em qualquer ordem: filtração primária; aeração (improvável de beneficiar a redução dos níveis de radioatividade na água); filtração de carbono granular ativado; membranas de microfiltração; filtração rápida de gravidade; coagulação (ou floculação); osmose reversa; troca iônica; filtração lenta de areia.
<i>Alvo</i>	Água potável (incluindo a água utilizada para a preparação de comida). Geralmente, apenas os abastecimentos públicos de água são submetidos a tratamento de água. Entretanto, os princípios descritos podem ser aplicados a abastecimentos privados de água, caso seja viável aplicar os tratamentos.
<i>Radionuclídeos</i>	Dependendo do tratamento, Sr-90, Ru-106, I-131, Cs-137, Ce-144, Ra-226, U-238, Pu-238, Pu-239 (ver <i>eficácia da contramedida</i> ).
<i>Escala de Aplicação</i>	Caso não seja normalmente utilizado, a instalação dos equipamentos será um processo demorado e custoso. Outros tratamentos de água, tais como a adição de um precipitante à água, podem ser realizados manualmente.
<i>Via de Contaminação</i>	Água contaminada.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição interna a partir do consumo de água ou comida preparada utilizando água contaminada.
<i>Momento de Aplicação</i>	O tratamento de água pelas companhias de água é um processo contínuo, utilizando pelo menos um dos métodos descritos acima. A implementação de tratamento adicional/alternativo deve ser realizada logo que possível.
<i>Restrições técnicas</i>	Descarte de materiais contaminados utilizados no tratamento de água.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Aeração e filtro de carvão ativado: I-131 (20-40%) Filtro de areia: Sr-90 (0-5%), I-131 (50-99%), Cs-137 (50%), Ce-144 (99%) Floculação e decantação ou filtração: Sr-90 (0-70%), Ru-106 (77-96%), I-131 (0-44%), Cs-137 (0-6%), Ce-144 (80-94%) Precipitação: Sr-90 (20-97%), Ru-106 (0-83%), I-131 (0-10%), Cs-137 (0-80%) Troca-iônica: Sr-90 (90-100%), Cs-137 (>99%) Osmose reversa: Sr-90 (>99%).
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	A eficácia dos tratamentos cai depender de quais radionuclídeos estão contaminando a água. No caso de coagulação e de precipitação, a eficácia do tratamento da água pode também ser afetada pela adição do produto químico à água.
<i>Necessidade de</i>	É improvável que qualquer equipamento de tratamento de água em uma

<i>Equipamento Específico</i>	estação de tratamento de água não seja utilizado como parte do processo de tratamento de rotina. Um tratamento adicional geralmente requer um equipamento adicional, que deverá ser instalado na estação. O equipamento necessário dependerá do método de tratamento escolhido.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Depende do tipo de tratamento adicional a ser implementado, mas pode incluir: carbono ativado; areia; floculante químico; agente precipitante.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Depende da habilidade dos trabalhadores e do tipo de equipamento.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	O tratamento adicional de água a ser implementado. A quantidade de água a ser tratada.
<i>Precauções de Segurança</i>	Pode ser necessário tomar precauções adicionais de segurança contra a exposição radioativa com a produção de rejeito durante o tratamento.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Altamente dependente do tipo de tratamento e da escala de aplicação.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Pode ser sólido, lodo ou líquido. Água acima dos Níveis de Ação que já tenha sido submetida ao tratamento, também será tratada como rejeito.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Radionuclídeos presentes. Tipo de tratamento de água implementado. Quantidade de água potável consumida.
<i>Dose Adicional</i>	O manuseio e o descarte de concentrados sólidos contaminados (tortas e lodos) gerados a partir do processo de tratamento de água, podem causar doses adicionais aos trabalhadores. As doses ocupacionais precisariam ser avaliadas e controladas quando necessário.
<i>Outros Impactos</i>	Improvável que sejam significativos. Entretanto, o descarte de rejeito gerado a partir de seu tratamento pode ser um problema, caso as rotas normais de descarte não possam ser utilizadas.
<i>Experiência Prática</i>	Não há evidência disponível de qualquer experiência prática da utilização dos tratamentos de água por companhias de água, a fim de reduzir especificamente a contaminação radioativa na água em larga escala.
<i>Referências-Chave</i>	N3.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>AMBIENTES AQUÁTICOS</b>	<b>No. 03</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Rios e corpos d'água utilizados para abastecimento público</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Alteração do regime de captação de água.</b>
<i>Superfície</i>	Rios e corpos d'água utilizados para abastecimento de água para a população.
<i>Objetivo</i>	Interromper o fluxo de água contaminada para dentro da estação de tratamento de água, com o intuito de reduzir as doses de ingestão.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Os abastecimentos públicos de água se originam de uma certa quantidade de fontes. Se alguma dessas fontes for contaminada radioativamente, será possível interromper a captação a partir da(s) fonte(s) contaminada(s). Pode ser necessário captar de outras fontes, a fim de manter o abastecimento. Em alguns casos, pode ser possível gerenciar a vazão de um rio a fim de reduzir as concentrações de atividade na água de captação. Por exemplo, o aumento da taxa de descarte de um reservatório de água poderia diluir qualquer radioatividade no rio a jusante, no qual ocorra captação Esta medida pode ser usada em conjunto com a mistura controlada de água (ver próxima medida).
<i>Alvo</i>	Água que se pretende abastecer como água potável. Uma vez que os abastecimentos privados de água normalmente se originam de uma fonte única, esta opção não será viável para abastecimentos privados de água.
<i>Radionuclídeos</i>	Se implementada com êxito, esta opção será eficaz para todos os radionuclídeos. Particularmente útil para radionuclídeos de meia-vida curta.
<i>Escala de Aplicação</i>	Uma quantidade suficiente de água precisa ser providenciada por meio da captação de fontes alternativas para que esta opção seja implementada. Caso a fonte de cuja captação deva ser interrompida seja grande, isto pode significar que quantidades insuficientes de água sejam abastecidas para os consumidores. Se este for o caso, esta opção deveria ser rejeitada para uma utilização a longo prazo, porém pode ainda ser eficaz para radionuclídeos de meia-vida curta, especialmente se for implementada em conjunto com a opção de abastecimento alternativo.
<i>Via de Contaminação</i>	Água contaminada.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição interna a partir de água ou de comida preparada com água contaminada.
<i>Momento de Aplicação</i>	Pode ser implementada rapidamente. Deve-se procurar implementá-la antes que a contaminação alcance o ponto de captação.
<i>Restrições técnicas</i>	Um abastecimento suficiente de água proveniente de outras fontes será necessário. Condições de seca tais como aquelas que seguem um período prolongado de calor podem afetar a quantidade de água disponível em outras fontes e podem eliminar esta opção como uma possibilidade.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Se a captação for interrompida antes da água contaminada atravessar o sistema de abastecimento, esta opção será quase que totalmente eficaz.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Velocidade de interrupção da captação a partir de uma fonte contaminada.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Nenhum equipamento adicional, utilitários ou infraestrutura serão necessários, a não ser aqueles utilizados durante o processo diário de abastecimento.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Nenhum.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Nenhuma habilidade adicional será necessária, a não ser aquelas já presentes nos trabalhadores.

<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Não se sabem quais são os custos associados com a mudança da captação de diferentes pontos.
<i>Precauções de Segurança</i>	Nenhuma precaução de segurança adicional será necessária, a não ser aquelas que já são tomadas.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	A alteração de pontos de captação não produzirá qualquer rejeito direto.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Poderá existir água contaminada a partir do abastecimento original no sistema de água que requer descarte.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Velocidade de interrupção da captação da fonte contaminada.
<i>Dose Adicional</i>	A abstração deverá ser controlada remotamente, portanto não devem existir doses para trabalhadores.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Não há evidências disponíveis de qualquer experiência prática de interrupção da captação de uma fonte especificamente para reduzir a contaminação radioativa na água potável.
<i>Referências-Chave</i>	N3.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>AMBIENTES AQUÁTICOS</b>	<b>No. 04</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Rios e corpos d'água utilizados para abastecimento público</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Diluição da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Mistura controlada da água.</b>
<i>Superfície</i>	Rios e corpos d'água utilizados para abastecimento de água para a população.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a dose individual interna proveniente do consumo de água a partir de um abastecimento público de água, quando ocorre contaminação de uma fonte de abastecimento de água.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Num ponto chamado de ponto de mistura, a fonte de água contaminada é misturada com uma fonte que possui níveis de contaminação mais baixos (ou níveis zero), com o intuito de produzir um nível médio aceitável de contaminação na água de beber.
<i>Alvo</i>	Água que se pretende abastecer como fontes de água potável. É improvável que a mistura controlada seja uma opção para abastecimentos privados de água, uma vez que é improvável que uma segunda fonte de água não-contaminada esteja disponível. Entretanto, alguns abastecimentos privados de água têm de possuir uma fonte adicional de abastecimento, onde uma fonte pode se esgotar durante o verão. Deve ser observado que a água proveniente da fonte alternativa é freqüentemente não muito saborosa e por isso, provavelmente não poderia ser utilizada a longo prazo.
<i>Radionuclídeos</i>	Esta medida deve ser eficaz para todos os radionuclídeos.
<i>Escala de Aplicação</i>	Água potável de abastecimento público.
<i>Via de Contaminação</i>	Água contaminada.
<i>Via de Exposição</i>	Exposição interna proveniente da ingestão de água ou de comida preparada com água contaminada.
<i>Momento de Aplicação</i>	Assim que possível, após o monitoramento ter indicado que pode haver um problema.
<i>Restrições técnicas</i>	Um abastecimento suficiente de água não-contaminada será necessário para produzir um nível médio aceitável de contaminação até que o volume inteiro de água contaminada tenha atravessado o sistema.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	A eficácia da mistura será dependente da quantidade de água não-contaminada disponível para reduzir a contaminação média para níveis abaixo dos Níveis de Ação, até que a fonte de água contaminada tenha atravessado o sistema. A mistura limitada pode ainda valer a pena, tendo em conta o controle dos níveis de contaminação durante períodos curtos, particularmente para radionuclídeos de meia-vida curta.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	—
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	Nenhum equipamento adicional, utilitários ou infraestrutura serão necessários, a não ser aqueles utilizados durante o processo diário de mistura controlada, caso isto seja uma prática normal. Entretanto, custos adicionais podem ser gerados caso o bombeamento de fontes mais distantes seja necessário.
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Nenhum.
<i>Habilidades Requeridas</i>	Nenhuma habilidade adicional será necessária, a não ser aquelas já presentes nos trabalhadores que operam o equipamento de mistura.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Nenhum custo adicional será gerado, a não ser aqueles já gerados pelas companhias de água durante o processo de mistura rotineiro.



<i>Precauções de Segurança</i>	Nenhuma precaução adicional de segurança será necessária, além daquelas já tomadas durante o processo de mistura.
<i>Rejeito: Quantidade</i>	A mistura não produzirá qualquer rejeito direto.
<i>Rejeito: Tipo</i>	—
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	A dose evitada individual dependerá da diferença no nível de contaminação observado na água antes e depois da mistura. Deve ser observado que toda a água contaminada misturada será bebida por alguém, ou seja, a dose coletiva será afetada.
<i>Dose Adicional</i>	A mistura será controlada remotamente; por isso, não devem existir doses para quaisquer trabalhadores.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Não há uma evidência disponível de qualquer experiência prática de mistura controlada especificamente com o objetivo de reduzir a contaminação radioativa da água potável.
<i>Referências-Chave</i>	N3.
<i>Comentários</i>	A mistura de água “limpa” com água contaminada pode ser vista como inaceitável. Entretanto, pode ser a única forma de produzir água com qualidade necessária para abastecer a demanda dos consumidores.

<b>Tipo de área</b>	<b>AMBIENTES AQUÁTICOS</b>	<b>No. 05</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Lagos, lagoas, açudes, reservatórios, rios e praias</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Proibição de pesca.</b>
<i>Superfície</i>	Lagos, lagoas, açudes, reservatórios, rios e praias.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a ingestão de alimentos contaminados.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Proibir a pesca e a comercialização de peixes provenientes das áreas contaminadas e recomendar interrupção de pesca de subsistência.
<i>Alvo</i>	Peixes.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio, estrôncio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada numa ampla escala, abrangendo até mesmo municípios próximos à fonte de contaminação.
<i>Via de Contaminação</i>	Água e/ou ingestão de alimentos ou sedimentos contaminados.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de peixes contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Pode ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	Pode ser socialmente tumultuado e caro onde o produto for um componente importante da dieta ou for vital para a economia local.
<i>Eficácia da Contramedida</i>	Evita a ingestão de alimento contaminado.
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Composição e extensão da contaminação. Quantidade de radioatividade residual. Espécies de peixe. Rigidez na fiscalização quanto ao cumprimento da proibição da atividade de pesca e comercialização.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	Fiscais com poder de polícia.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	Tamanho da área afetada, Hábitos da população, Relevância da atividade pesqueira para a área afetada.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Consistência em realizar o procedimento numa área grande. Tamanho da área em relação ao tipo de ambiente.
<i>Dose Adicional</i>	Mudanças na irradiação externa das pessoas que vivem ou trabalham na pesca ou comercialização do pescado.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Realizado na Noruega após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências-Chave</i>	I1, M2, S6.
<i>Comentários</i>	A substituição de alimentos pode ser necessária.

<b>Tipo de área</b>	<b>AMBIENTES AQUÁTICOS</b>	<b>No. 06</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Lagos, lagoas, açudes, reservatórios, rios e praias</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Controle do consumo</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Limitação dos tipos e das quantidades de peixe consumido.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com criação de peixes ou próximas a lagos, lagoas, açudes, reservatórios, rios e praias.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a ingestão de alimentos contaminados.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Restrição do consumo dos tipos de peixes que podem estar mais contaminados reduz a incorporação do radionuclídeo e, portanto, a dose.
<i>Alvo</i>	Peixes.
<i>Radionuclídeos</i>	Césio, estrôncio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada numa ampla escala, abrangendo até mesmo diversos municípios próximos à fonte de contaminação.
<i>Via de Contaminação</i>	Água contaminada e/ou ingestão de alimentos ou sedimentos contaminados.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de peixes contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Composição e extensão da contaminação. Quantidade de radioatividade residual. Espécie do peixe. Rigidez na fiscalização quanto ao cumprimento da limitação.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Tipo de peixe consumido.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	Esta contramedida incluiria provavelmente os peixes predatórios e os peixes do topo da cadeia alimentar.
<i>Experiência Prática</i>	Realizado na Noruega após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências-Chave</i>	I1, M2, S6.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>AMBIENTES AQUÁTICOS</b>	<b>No. 07</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Lagos, lagoas, açudes, reservatórios, rios e praias</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Processamento do peixe.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com criação de peixes ou próximas a lagos, lagoas, açudes, reservatórios, rios e praias.
<i>Objetivo</i>	Remover órgãos com concentrações altas de radionuclídeos.
<i>Descrição da Contramedida</i>	O processamento de peixes antes do consumo é útil para radionuclídeos que estão concentrados em órgãos específicos; por exemplo, cobalto e zinco se concentram no fígado e estrôncio, nos ossos.
<i>Alvo</i>	Peixes.
<i>Radionuclídeos</i>	Estrôncio, plutônio e amerício.
<i>Escala de Aplicação</i>	Não é útil para o céσιο, o qual é distribuído em todos os tecidos moles, ou para animais que são comidos por inteiro.
<i>Via de Contaminação</i>	Água contaminada e/ou ingestão de alimentos ou sedimentos contaminados.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de peixes contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Quantidade de radioatividade residual. Espécie do peixe. Rigidez no cumprimento do processamento.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	Mão de obra qualificada juntamente com algum grau de monitoramento.
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Órgãos específicos do peixe (dependendo do radionuclídeo).
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	—
<i>Dose Adicional</i>	Dose dos trabalhadores no processamento dos peixes.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Realizado na Noruega após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências-Chave</i>	I1, M2, S6, F3.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>AMBIENTES AQUÁTICOS</b>	<b>No. 08</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Lagos, lagoas, açudes, reservatórios, rios e praias</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Diluição da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Fornecimento de alimento não-contaminado.</b>
<i>Superfície</i>	Áreas rurais com criação de peixes ou próximas a lagos, lagoas, açudes e reservatórios.
<i>Objetivo</i>	Reduzir a ingestão, pelos animais, de alimentos contaminados.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Fornecimento de estoques regulares de alimentos não-contaminados como um substituto para o alimento contaminado normalmente ingerido pelo peixe.
<i>Alvo</i>	Peixes.
<i>Radionuclídeos</i>	Principalmente césio.
<i>Escala de Aplicação</i>	Isto é facilmente realizado em fazendas de criações de peixes, onde o peixe é normalmente alimentado desta forma, porém nesta situação, é improvável que o alimento esteja contaminado. É improvável que seja praticável em lagos e rios naturais.
<i>Via de Contaminação</i>	Água contaminada e/ou ingestão de alimentos ou sedimentos contaminados.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de peixes contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a médio e a longo prazos após a deposição radioativa.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Composição e quantidade de radioatividade residual. Espécie do peixe. Rigidez da aplicação de alimento não-contaminado. Disponibilidade do alimento substituto.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Alimento não contaminado para pescado.
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Realizado na Noruega após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências-Chave</i>	I1, M2, S6, E1, L1.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>AMBIENTES AQUÁTICOS</b>	<b>No. 09</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Lagos, lagoas, açudes e reservatórios de água</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Aumento dos níveis de potássio e/ou de cálcio no lago.</b>
<i>Superfície</i>	Lagos, lagoas, açudes e reservatórios.
<i>Objetivo</i>	Reduzir o nível de contaminação radioativa na cadeia alimentar aquática.
<i>Descrição da Contramedida</i>	A redução de radionuclídeos na cadeia alimentar através da adição de concentração do elemento estável é de um valor limitado, porque a residência dos radionuclídeos na coluna d'água é tipicamente da ordem de apenas poucas semanas.
<i>Alvo</i>	Peixes.
<i>Radionuclídeos</i>	Principalmente céσιο.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada numa ampla escala, dependendo do tamanho do lago ou lagoa. Poderia ser considerada onde há uma entrada crônica de radionuclídeos num sistema aquático.
<i>Via de Contaminação</i>	Água contaminada e/ou ingestão de alimentos ou sedimentos contaminados.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de peixes contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser realizada imediatamente após a deposição, a fim de reduzir a contaminação potencial de longo prazo nos peixes.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Composição e quantidade de radioatividade residual. Espécie do peixe. Quantidade de potássio e/ou de cálcio aplicados no lago/lagoa.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	Produtos solúveis de potássio e cálcio.
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	—
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	Nenhuma.
<i>Rejeito: Tipo</i>	Nenhum.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Densidade dos animais expostos. Consistência em realizar o procedimento numa área grande.
<i>Dose Adicional</i>	—
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Realizado na Noruega após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências-Chave</i>	I1, M2, S6, F3.
<i>Comentários</i>	—

<b>Tipo de área</b>	<b>AMBIENTES AQUÁTICOS</b>	<b>No. 10</b>
<b>Alvo de Aplicação</b>	<b>Lagos, lagoas, rios e praias</b>	
<b>Tipo de medida</b>	<b>Remoção da contaminação</b>	

<b>Nome da medida</b>	<b>Drenagem de lagos e remoção da camada do topo de sedimentos contaminados.</b>
<i>Superfície</i>	Lagos, lagoas, açudes e reservatórios.
<i>Objetivo</i>	Reduzir o nível de contaminação radioativa na cadeia alimentar aquática.
<i>Descrição da Contramedida</i>	Os sedimentos aumentam em profundidade naturalmente com o tempo, à medida que mais material é depositado; os radionuclídeos vão sendo gradualmente removidos do contato com a cadeia alimentar, geralmente dentro de 5-10 anos.
<i>Alvo</i>	Peixes.
<i>Radionuclídeos</i>	Principalmente céσιο.
<i>Escala de Aplicação</i>	Pode ser realizada numa escala ampla.
<i>Via de Contaminação</i>	Água contaminada e/ou ingestão de alimentos ou sedimentos contaminados pelos animais.
<i>Via de Exposição</i>	Ingestão de peixes contaminados.
<i>Momento de Aplicação</i>	Deve ser aplicada a curto e a médio prazos após a deposição radioativa, para ser efetiva. A longo prazo, o material depositado nos sedimentos é removido do contato com a cadeia alimentar por processos naturais de recobrimento.
<i>Restrições técnicas</i>	—
<i>Eficácia da Contramedida</i>	—
<i>Fatores técnicos que Influenciam a Eficácia do Procedimento</i>	Composição e quantidade de radioatividade residual. Espécie do peixe. Quantidade de sedimento presente no lago/lagoa.
<i>Necessidade de Equipamento Específico</i>	—
<i>Materiais de Consumo Requeridos</i>	—
<i>Habilidades Requeridas</i>	—
<i>Fatores que Influenciam os Custos</i>	A remoção de sedimentos é uma contramedida extremamente cara.
<i>Precauções de Segurança</i>	—
<i>Rejeito: Quantidade</i>	—
<i>Rejeito: Tipo</i>	Lodo e sedimentos contaminados.
<i>Fatores que Influenciam a Dose Evitada</i>	Redução da dose externa de pescadores e usuários em atividades de lazer.
<i>Dose Adicional</i>	Deve-se tomar cuidado com as pessoas responsáveis por remover a camada de sedimentos, a fim de que elas não sejam expostas à dose externa.
<i>Outros Impactos</i>	—
<i>Experiência Prática</i>	Realizado na Noruega após o acidente de Chernobyl.
<i>Referências-Chave</i>	I1, M2, S6.
<i>Comentários</i>	A relação custo-eficiência da remoção do sedimento versus a compensação por outras medidas, tais como restrições de pesca para o período, deve ser examinada detalhadamente antes que tais medidas sejam utilizadas.





## REFERÊNCIAS

- A1 Alexakhin, R. M. Countermeasures in agricultural productions as an effective means of mitigating the radiological consequences of the Chernobyl accident, *Science of the Total Environment*, v. 137 1-3, pp. 9-20, 1993.
- A2 Alexakhin, R. M. *et al.* Change in land use and crop selection, *Science of the Total Environment*, v. 137 1-3, pp. 169-172, 1993.
- A3 Allott, R. W., Kelly, M. & Hewitt, C. N., A model of environmental behavior of contaminated dust and its application to determining dust fluxes and residence times, *Atmospheric Environment* 28(4), pp. 679-687, 1994.
- A4 Andersson K. G. & Roed J., A Nordic preparedness guide for early clean-up in radioactively contaminated residential areas, *J. Environmental Radioactivity* vol. 46, n. 2, pp. 207-223, 1999.
- A5 Andersson, K. G., Antsipov, G. V., Astashko, G. A., Balonov, M. I., Barkovsky, A. N., Bogachev, O. M., Golikov, V. Y., Kenik, I. A., Kovgan, L. N., Matveenko, S. A., Mirkhairdarov, A. K., Roed, J., Zombori, P., Guide on decontamination of rural settlements in the late period after radioactive contamination with long-lived radionuclides, IAEA Working Document: TC Project RER/9/059, IAEA, Vienna, 84 p., 2001.
- A6 Andersson, K. G., Roed, J., Eged, K., Zis, Z., Voigt, G., Meckbach, R., Oughton, D. H., Hunt, J., Lee, R., Beresford, N.A., Sandalls, F.J. Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas, Risø National Laboratory, Roskilde, 143 p., 2003.
- A7 Andersson, K. G., Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas, NKS/EKO-5(96)18, 93 p., 1996.
- A8 Arnold, L., Recommendations for reduction of agricultural impact subsequent to a nuclear accident, ANS Rep. 2387-R2 to Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Associated Nuclear Services, Epsom, UK, 1991.
- A9 Amaral, E. C. S., Paretzke, H. G., Campos, M. J., Pires do Rio, M. A., Franklin, M., 1995, Transfer of <sup>137</sup>Cs from soil to chicken meat and eggs, *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol.29 No.3, pp. 237-255.
- B1 Barbier, M. M. & Chester, C. V., Decontamination of large horizontal concrete surfaces outdoors, Proc. of the Concrete Decontamination Workshop, 28-29 May 1980.
- B2 Bertilsson, J., Andersson, I., Johanson, K. J. Feeding green-cut forage contaminated by radioactive fallout to dairy cows, *Health Physics* 55, pp. 855-862, 1988.
- B3 Bishop, G. P., Beetham, C. J., Cuff, Y. S. Review of literature for chlorine, technetium, iodine and neptunium, NIREX Radioactive Waste Disposal Safety Studies, Rep. NSS/R193, Associated Nuclear Services, Epsom, UK, 1989.
- C1 Calvert, S., Brattin, H. & Bhutra, S., Improved street sweepers for controlling urban particulate matter, A.P.T., Inc., 4901 Morena Blvd., Suite 402, San Diego, CA 97117, 1984.
- C2 Chamberlain, A. C. *Radioactive Aerosols*, Cambridge Environmental Chemistry Series 3, Cambridge University Press., Cambridge, 1991.

- C3 Commission of the European Communities, Comparative assessment of the environmental impact of radionuclides released during three major nuclear accidents: Kyshtym, Windscale and Chernobyl, Rep. EUR 13574, CEC, Luxembourg, 1991.
- C4 Coughtrey, P. J. Radioactivity transfer to animal products, ANS Rep. 2223-RI to the Commission of the European Communities, DGXI, Associated Nuclear Services, Epsom, UK, 1990.
- D1 Davydchuk, V., The natural conditions of the experiment on soil deactivation by the method of contaminated layer removal, Strategies of Decontamination, Annual Report to Commission of the European Communities DGXII (Maubert, H., Ed.), CEC Contract No. COSU-CT92-0018, Cadarache, France, pp. 12, 1992.
- D2 Desmet, G. M., Van Loon, L. R., Howard, B. J. Chemical speciation and bioavailability of elements in the environment and their relevance to radioecology, Science of the Total Environment, v. 100, pp. 105-127, 1991.
- E1 Elliott, J. M., *et al.*, Radioactivity in fish from two Cumbrian lakes after Chernobyl: sources of variability within the data, J. Appl. Ecol. 29, pp. 108-120, 1992.
- E2 European Union - Report EUR 16604 EN.
- F1 Firsakova, S. K., Effectiveness of countermeasures applied in Belarus to produce milk and meat with acceptable levels of radiocaesium after the Chernobyl accident, Science of the Total Environment, v. 137 1-3, pp. 199-203, 1993.
- F2 Fogh, C. L., Andersson, K. G., Barkovsky, A. N., Mishine, A. S., Ponamarjov, A. V., Ramzaev, V. P. & Roed, J., Decontamination in a Russian settlement, Health Physics 76(4), pp. 421-430, 1999.
- F3 Foulquier, L., Étude bibliographique sur la capacité et les modalités de la fixation de radiocaesium par les poissons, Rep. CEA-BIB-231 (2), Commissariat à l'énergie atomique, Paris, 1979.
- G1 Gjørup, H. L., Jensen, N. O., Hedemann Jensen, P., Kristensen, L., Nielsen, O. J., Petersen, E. L., Petersen, T., Roed, J., Thykier Nielsen, S., Heikel Vinther, F., Warming, L., & Aarkrog, A., Radioactive contamination of Danish territory after core-melt accidents at the Barsebäck power plant, Risø National Laboratory, 1982.
- H1 Hedemann Jensen, P., Lundtang Petersen, E., Thykier-Nielsen, S., Heikel Vinther, F., Calculation of the individual and population doses on Danish territory resulting from hypothetical core-melt accidents at the Barsebäck reactor, Risø-R-356, 1977.
- H2 Hove, K. *et al.*, Countermeasures for reducing radioactive contamination of farm animals and farm animal products, Science of the Total Environment, v. 137 1-3, pp. 249-260, 1993.
- H3 Howard, B. J., Management methods of reducing radionuclide contamination of animal food products in semi-natural ecosystems, Science of the Total Environment, v. 137 1-3, pp. 249-260, 1993.
- H4 Howard, B. J., Beresford, N. A., Hove, K., Transfer of radiocaesium to ruminants in natural and semi-natural ecosystems and appropriate countermeasures, Health Physics 61, pp. 715-725, 1991.
- H5 Hubert, P., Annisomova, L., Antsipov, G., Ramsaev, V. & Sobotovitch, V., Strategies of decontamination, Experimental Collaboration Project 4, European Commission, 1996.

- I1 International Atomic Energy Agency, Guidelines for agricultural countermeasures following an accidental release of radionuclides, Technical Reports Series n° 363, Vienna, 1994
- I2 International Atomic Energy Agency, Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in temperate environments, Technical Reports Series n° 364, IAEA, Vienna, 1994.
- J1 Jackson, D., Jones, S. R., Reappraisal of environmental countermeasures to protect members of the public following the Windscale Nuclear Reactor Accident, 1957, Comparative Assessment of the Environmental Impact of Radionuclides Released during Three Major Nuclear Accidents: Kyshtym, Windscale and Chernobyl, Rep. EUR 13574, Commission of the European Communities, Luxembourg, pp. 1015-1039, 1991.
- J2 Johanson, K. J., Bergstrom, R., Von Bothmer, S., Kardell, L., Radiocaesium in Swedish forest ecosystems, The Chernobyl Fallout in Sweden (Moberg, L., Ed.), Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, pp. 477-486, 1991.
- J3 Johnson, J. E., Ward, G. M., Firestone, E., Knox, K. L., Metabolism of radioactive caesium (Cs-134 and Cs-137) and potassium by dairy cattle as influenced by high and low forage diets, J. Nutr. 94, pp. 282-288, 1968.
- J4 Jones, B. E. V., Management methods of reducing radionuclide contamination of animal food products, Science of the Total Environment, v. 137 1-3, pp. 227-233, 1993.
- J5 Jouve, A., Maubert, H., Millan-Gomez, R., Kutlakhmedov, Y., Rehabilitation of soils and surfaces after a nuclear accident, some techniques tested in the Chernobyl zone, Paper presented at Int. Conf. on Nuclear Waste Management and Environmental Remediation, Prague, 1993.
- J6 Jouve, A., Schulte, E., Bon, P., Cardot, A. L., Mechanical and physical removing of soil and plants as agricultural mitigation techniques, Science of the Total Environment, v. 137 1-3, pp. 65-79, 1993.
- K1 Konoplev, A. V., *et al.*, Influence of agricultural countermeasures on the ratio of different forms of radionuclides in soil and soil pollution, Science of the Total Environment, v. 137 1-3, pp. 147-162, 1993.
- L1 Lambrechts, A., Essai de modelisation du transfert du césium 137 dans les compartiments d'un écosystème d'eau douce simplifié, Rep. CEA-R-5268, Commissariat à l'énergie atomique, Paris, 1986.
- L2 Lambrechts, J., A review of literature on the effectiveness of chemical amendments in reducing the soil-to-plant transfer of radiostrontium and radiocaesium, Science of the Total Environment, v. 137 1-3, pp. 81-98, 1993.
- L3 Lengemann, F. W., Metabolism of radioactive by lactating goats given iodine-131 for extended periods, J. Dairy Sci. 53, pp. 165-170, 1970.
- M1 Mattsson, S., Moberg, L., Fallout from Chernobyl and atmospheric nuclear weapons tests: Chernobyl in perspective, The Chernobyl Fallout in Sweden, Results from a Research Programme on Environmental Radiology (Moberg, L., Ed.), Swedish Radiation Protection Institute, Stockholm, pp. 591-627, 1991.
- M2 Maubert, H., Vovk, I., Roed, J., Arapis, G., Jouve, A., Reduction of soil-plant transfer factors: Mechanical aspects, Science of the Total Environment, v. 137 1-3, pp. 163-167, 1993.

- M3 Minotti, P. L., Craig, D., Kackson, W. A., High caesium uptake in wheat seedlings cultured with ammonium, *Soil Sci. Soc. Am., Proc.* 29, pp. 220-221, 1965.
- N1 Nisbet, A. F., Effects of soil-based countermeasures on solid-liquid equilibria in agricultural soils contaminated with radiocaesium and radiostrontium, *Science of the Total Environment*, v. 137 1-3, pp. 99-118, 1993.
- N2 Nisbet, A. F., *et al.*, Application of fertilizers and ameliorants to reduce soil to plant transfer of radiocaesium and radiostrontium in the medium to long term: a summary, *Science of the Total Environment*, v. 137 1-3, pp. 173-182, 1993.
- N3 Nisbet, A.; Jones, A.; Brown, J.; Mortimer, K.; Roberts, G.; Mobbs, S. UK Recovery handbook for radiation incidents 2008 – version 2. Health Protection Agency, 2008.
- O1 Øhlenschläger, M., The transfer of radionuclides in the terrestrial environment, Rep. Risø-M-2934, Risø National Laboratory, Roskilde, 1991.
- P1 Prister, B. S., Loshchilov, N., Perepelyatnikova, L., Perepelyatnikov, G., Bondar, P., Efficiency of measures aimed at decreasing the contamination of agricultural products in areas contaminated by the Chernobyl accident, *Science of the Total Environment*, v. 112, pp. 79-87, 1992.
- P2 Prister, B. S., Perepelyatnikov, G. P., Perepelyatnikova, L. V., Countermeasures used in the Ukraine to produce forage and animal food products with radionuclide levels below intervention limits after the Chernobyl accident, *Science of the Total Environment*, v. 137 1-3, pp. 183-198, 1993.
- R1 Roed, J. & Andersson, K. G., Clean-up of urban areas in the CIS countries contaminated by Chernobyl fallout, *J. Environmental Radioactivity* vol. 33, no.2, pp. 107-116, 1996.
- R2 Roed, J., Andersson, K. G., Prip, H. (ed.), Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident, Risø-R-828(EN), 82 p., 1995.
- R3 Roed, J., Lange, C., Andersson, K. G., Prip, H., Olsen, S., Ramzaev, V. P., Ponamarjov, A. V., Barkovsky, A. N., Mishine, A. S., Vorobiev, B. F., Chesnokov, A. V., Potapov, V. N., Shcherbak, S. B., Decontamination in a Russian settlement, Risø National Laboratory, Risø-R-870, 102 p., 1996.
- R4 Roed, J., Andersson, K. G., Barkovsky, A. N., Fogh, C. L., Mishine, A. S., Olsen, S. K., Ponamarjov, A. V., Prip, H., Ramzaev, V. P., Vorobiev, B. F., Mechanical decontamination tests in areas affected by the Chernobyl accident, Risø-R-1029, 101 p. 1998.
- R5 Roed, J., Deposition and removal of radioactive substances in an urban area, Final Report of the NKA Project AKTU-245, Nordic Liaison Committee for Atomic Energy, 1990.
- R6 Roed, J., Relationships in indoor/outdoor air pollution, Risø National Laboratory, 1985.
- S1 Sandalls, F. J., Review of countermeasures used in agriculture following a major nuclear accident, *Environmental Contamination Following a Major Nuclear Accident (Proc. Symp. Vienna, 1989)*, IAEA, Vienna, pp. 129-140, 1990.
- S2 Schell, W. R., Linkov, I., Myttenaere, C., Morel, B., A dynamic model for evaluating radionuclide distribution in forests from nuclear accidents, *Health Physics* 70(3), pp. 318-335, 1996.
- S3 Segal, M. G., Agricultural countermeasures following deposition of radioactivity after a nuclear accident, *Science of the Total Environment*, v. 137 1-3, pp. 31-48, 1993.

- S4 Singleton, D. L. *et al.*, Development of a laboratory method to predict rapidly the availability of radiocaesium, *Analyst* 117, pp. 505-509, 1992.
- S5 Smith, C. B., Lambert, J. A., Technology and costs for cleaning up land contaminated with plutonium, Selected Topics: Transuranium Elements in the General Environment, Technical Note ORP/CSD-78-1, Environmental Protection Agency, Washington, DC, pp. 490-545, 1978.
- S6 Strand, P., Selnaes, T. D., BCE, E., Harbitz, O., Andersson-Sorlie, A., Chernobyl fallout: internal doses to the Norwegian population and the effect of dietary advice, *Health Physics* 63, pp. 385-392, 1992.
- T1 Tawil, J. J. & Bold, F. C., A guide to radiation fixatives, Report PNL-4903, Pacific Northwest Lab., Richland, WA 99352, USA, 1983.
- T2 Thompson, J. C., Wentworth, R. A., Comar, C. L., Control of fallout contamination in the post attack diet, Proc. Symp. on Survival of Food Crops and Livestock in the Event of Nuclear War (Benson, B. W., Sparrow, A. H., Eds), Brookhaven Natl Lab., NY, pp. 566-595, 1970.
- V1 Van der Borcht, O., Colard, J., Van Puymbroeck, S., Kirchmann, R., Recontamination from milk in piglets (swine): influence of sodium alginate on the Sr-85/Cs-134 ratio of the body burden and on the comparative Sr-85/Ca-45 absorption, *Radioecological Concentration Processes* (Aberg, B., Hungate, F. P., Eds), Pergamon Press, Oxford and New York, pp. 583-593, 1967.
- V2 Van Dorp, F., Eleveld, R., Frissel, M. J., Agricultural measures to reduce radiation doses to man caused by severe nuclear accidents, ITAL Wageningen Rep. EUR 7370 EM, Commission of the European Communities, Luxembourg, 1980.
- V3 Voigt, G., Chemical methods to reduce the radioactive contamination of animals and their products in agricultural ecosystems, *Science of the Total Environment*, v. 137 1-3, pp. 205-225, 1993.
- V4 Vovk, I. F., Blagoyev, V. V., Lyashenko, A. N., Kovalev, I. S., Technical approaches to decontamination of terrestrial environments in the CIS (former USSR), *Science of the Total Environment* vol. 137 1-3, pp. 49-63, 1993.
- W1 Ward, G. M., Johnson, J. E., Validity of the term transfer coefficient, *Health Physics* 50, pp. 411-414, 1986.
- W2 Warming, L., Weathering and decontamination of radioactivity deposited on concrete surfaces, Risø National Laboratory, Risø-M-2473, 1984.
- W3 Watson, E. C., Nelson, I. C., Wood, C. H., McClellan, R. O., Bustad, L. K., Effect on varying stable iodine in diets of cows fed I-131 on uptake of I-131 in man drinking the milk: an abstract, *Health Physics* 9, pp. 1419, 1963.
- W4 Wilkins, B. T., Howard, B. J., Desmet, G. M., Alexakhin, R. M., Maubert, H., Strategies for the deployment of agricultural countermeasures, *Science of the Total Environment*, v. 137 1-3, pp. 1-8, 1993.
- W5 Willdrot, C., Agrotechnical countermeasures to be applied before and during deposition of radioactive fallout, *Science of the Total Environment*, v. 137 1-3, pp. 21-29, 1993.



# **TRABALHOS PUBLICADOS**





## **PARTE 1**

# **TRABALHOS COMPLETOS APRESENTADOS**



# The development of environmental modeling tools in Brazil for emergency preparedness

Elaine R. R. Rochedo<sup>a1</sup>, Luiz F. C. Conti<sup>b</sup>, Maria Angélica V. Wasserman<sup>b</sup>, Isabel C. P. Salinas<sup>b</sup>, Denise M. Vinhas<sup>c</sup>, Maria Inês C. Vetere<sup>a</sup>, Jose F. Pereira<sup>b</sup>, Diogo N. G. Silva<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Comissão Nacional de Energia Nuclear, R. Gal. Severiano 90, 22290-901 Rio de Janeiro, RJ, Brazil

<sup>b</sup>Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Av. Salvador Allende s/ No., 22780-160 Rio de Janeiro, RJ, Brazil

<sup>c</sup>Fundação Oswaldo Cruz, Av. Brasil 4365, 21040-360 Rio de Janeiro, RJ, Brazil

**Abstract.** Since the Goiânia accident, in 1987, the IRD is developing tools to support decision-making processes after accidents involving radiological public exposure. The Environmental Modelling Project began with the development of the code CORAL, based on the German dynamic model ECOSYS, developed by the GSF, with the purpose of assessing the consequences of an accidental contamination of rural areas. Then, in cooperation with the GSF, the IRD has developed the model PARATI, based on information from Chernobyl and Goiânia accidents, for the assessment of the exposure of the public due to a contamination of Cs-137 in urban areas. This model includes the ability to simulate the implementation of countermeasure and its effectiveness in reducing doses to the public. Subsequently, the SIEM - Integrated Emergency System was developed to include CORAL and PARATI, as well as some generic models developed by the IAEA, for short-term dose estimates and to support protective strategies during the emergency phase of an accident. SIEM also incorporated standardized data on the physical behavior of radionuclides and dose conversion factors. Several improvements have been performed in order to better adequate the model to Brazilian social, political, economic and climatic characteristics. Currently a multi-criteria strategy to support decision-making processes after the occurrence of an event of environmental contamination is under development. That work includes the development of a database on countermeasures and a computer model to perform the multi-criteria simulation. At all stages of the work, the pertinent weather and seasonal aspects are considered, in order to obtain a guide to protective actions accounting for social, economic and climatic characteristics, to be used in multi-criteria optimization processes adequate for tropical climate areas

**KEYWORDS:** *nuclear/radiological accidents; environmental modelling; public exposure; dose assessment*

## 1. Introduction

Since the accident in Goiânia, in 1987 [1], the Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD) of the Brazilian National Nuclear energy commission (CNEN) started to develop tools to support the decision-making processes after accidents involving nuclear or radiological exposure of the public. Although at the time of the accident there was already an Emergency Group prepared to act in such events, very few resources were available to perform long term forecasts related to the behaviour of radionuclides in the environment and the consequent exposure of members of the public [2].

In 1989, a research program was set, partially sponsored by the International Atomic Energy Agency (IAEA) and the former German Research Center for Environmental Health (GSF), aiming to study the environmental behaviour of Cs-137 in the urban area of Goiânia [3,4]. When the initial results of such project become available, it was decided to start the development of tools for dose assessment to members of the public, including short, medium and long term forecasts in order to support the decision making process after accidental contamination of the environment [5].

---

<sup>1</sup> Presenting author, E-mail: [erochedo@cnen.gov.br](mailto:erochedo@cnen.gov.br)

The experience with Goiania and other accidents with environmental contamination and the consequent exposure of members of the public has shown that criteria and methodologies needed to be setted in advance as it was very difficult to introduce new concepts and methodologies after the accident [6,7,8,9,10,11].

## 2. Development of the Environmental Modelling Project

### 2.1 Software developments

The Environmental Modeling Project began with the development of the code CORAL, based on the German model ECOSYS [12], developed by the GSF, with the purpose of assessing the consequences of a possible accidental contamination of rural areas in short, medium and long term after a nuclear or radiological accident.

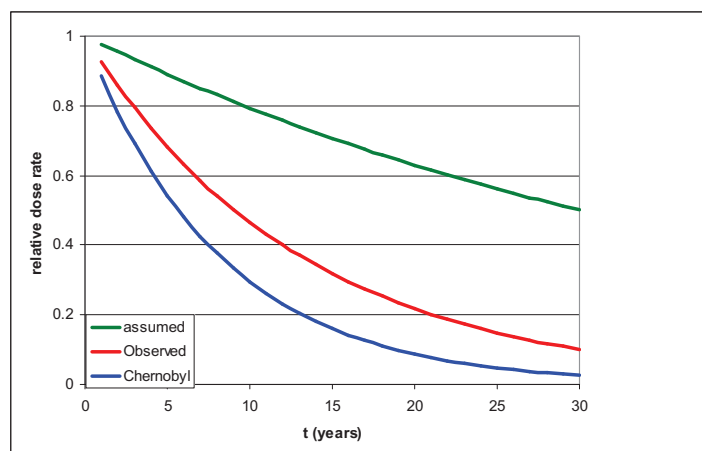
Then, still in cooperation with the GSF, the IRD has developed the model PARATI, based on information from Chernobyl and Goiânia accidents, for the assessment of the exposure of the public due to contamination of Cs-137 in urban areas. This model includes the ability to simulate the implementation of countermeasure and its effectiveness in reducing doses to the public [13,14,15].

Subsequently, the SIEM- Integrated Emergency System [16] was developed to include CORAL and PARATI, as well as some generic models developed by the IAEA, for short-term dose estimates and to support protective strategies during the emergency phase of an accident [17,18]. SIEM also incorporated standardized data on the physical behaviour of radionuclides and dose conversion factors [19,20]. Currently, using SIEM is included in the training procedures of the radiological Assessment team of IRD.

### 2.2 Environmental data from Goiânia follow-up

Since the Goiania accident, IRD kept, for about 10 years, a radiological monitoring program at Goiania. Results from this follow-up showed that the behavior of Cesium in a tropical urban environment could be considerably different from that observed in temperate climate countries [21,22]. One example can be seen in Figure 1, where external dose rates in urban environments at temperate climate countries, after the Chernobyl accident and at Goiania are compared. Also shown in Figure 1 is the decay assumed to derive intervention levels at the time of the accident, in the absence of knowledge on the behaviour of Cs-137 in urban environments [21].

**Figure 1.** Normalized gamma Dose Rate Outdoors in urban environments as a function of time



It can be seen that, at the time of the accident, the lack of knowledge about the behavior of cesium in urban environments lead to the use of very conservative approach, with actual data showing a much lower exposure rate than that assumed to derive intervention levels. On the other hand, if European

results were already available in 1987, literature values could have been used and actual doses would have been underestimated, as the weathering half-life at temperate countries is smaller than that observed at Goiania [9,21].

### **2.3 Results from Environmental Studies for Agricultural Areas**

In early 90's, there was another project in IRD called Tropical Radioecology that was also presenting results that could be rather different from those found in literature, mostly derived in temperate climate countries [22,23,24]. The modelling project joined then to the tropical radioecology project, in order to create a database on environmental transfer parameters adequate to be used in tropical climate countries [25,26].

The study of radionuclides in agricultural areas is of general concern because, once in the soil, most of them can recycle within the biota, similar to nutrients. Interactions between radionuclides and soil depend on the chemical form of element and some soil properties such as pH, mineralogical composition, organic matter content and nutrient status. Plant uptake of radionuclides will be dependent on these interactions and will also depend on the metabolic and physiological characteristics of the cultivated species. Knowledge of the mobility of radionuclides in soils is needed to assess potential hazards from radionuclide inputs into the food chains.

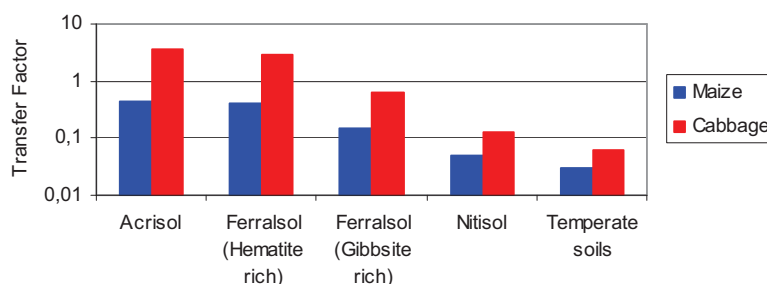
The Tropical Radioecology Project generated data on transfer factors of radionuclides, mainly for Cs-137, Co-60 and Sr-90, from soil to reference plants in a range of soil systems (kaolinite and Fe-Al oxide rich soils, very acid soils with low nutrient contents) where transfer factors deviate substantially from the average established for temperate soils. Several environmental experiments were performed intending to provide parameters for environmental assessment models related with Brazilian soil conditions and to contribute to the identification of ecosystems that are more vulnerable to radioactive contamination, using of sequential extraction procedures to describe the distribution of radionuclides in soil as a function of some physico-chemical conditions [27,28,29,30].

The understanding of the mechanisms and processes that influence the transfer and bioavailability of radioactive materials in ecosystems is still an important subject for research in the field of radioecology. Studies of the accident of Chernobyl contributed a better understanding of the behavior of artificial radionuclides in temperate climate soils, providing consistent information for the management of contaminated agricultural areas. However, these radioecological studies carried out on tropical areas showed that some ecosystems present suitable conditions for a higher plant uptake of radionuclides. In some cases, the soil acidity, the abundance of Al and Fe oxy-hydroxides, and the low status of soil fertility were mentioned as the probable cause of the higher Cs-137 transfer from soil to plants.

In this context, Brazilian soils are particularly interesting for this kind of study, since more than 60% of Brazilian cultivated soils exhibit such properties. Some results from the IRD Tropical Radioecology Project is shown in Figure 2, where soil-plant transfer factors for Cs-137 derived for different types of typical Brazilian agricultural soils and crops are compared with literature values for temperate climate countries [31]. These results show that some Brazilian agricultural soils may be very vulnerable to radioactive contamination with Cs-137.

The overall results of this project shows that the type of soil, together with agricultural practices such as soil amendment procedures, can strongly affect the uptake from the soil by the plants. Currently, the main focus of the project is the study of environmental behaviour under different conditions in order to not only support environmental modelling but also provide information for the decision making process, indicating procedures that would be effective, according to the type of soil and radionuclide, in, e.g., reducing mobility in the soil-plant system related to representative Brazilian crops and types of soil [32,33,34,35,36].

**Figure 2.** Transfer factors determined for different types of Brazilian agricultural soils [29] and for temperate climate countries [31]



Some controlled experiments were also performed in another research laboratory of CNEN at Poços de Caldas to derive translocation factors for typical Brazilian crops in support to Tropical Radioecology – Environmental Modelling joint effort in raising data to improve dose assessments after accidental environmental contamination [37].

## 2.4 Studies to Support Simulation in Urban Environments

The housing features in a country depend much on its climate. Dwellings in warm countries are much lighter constructions than in cold ones, which will reflect on the amount of shielding against radiation they provide. In addition to that, wealth is another factor that influences the building's finishing. Great effort has been taken to determine parameters to more accurately estimate dose to a population in case of a radioactive or nuclear accident. Nevertheless, most available data are concerned with typical housing in cold climate countries.

A study aimed to determine shielding factors for typical building materials used in the southeast of Brazil, a warm area, due to radioactive material deposited on the surrounding field, walls and ceiling of the external surfaces has been performed at IRD. Parameters values for typical building materials have been raised and attenuation coefficients have been measured experimentally. The shielding factors determination was performed by simulation with the MCNP5 Monte Carlo computer code. The air kerma indoors for the 300, 662 and 3000 keV photon energies have been determined for three different housing patterns, ranging from the very simple to a very complex structure.

The shielding factor, defined as the ratio of the air kerma indoor to the air kerma in open field, for the most simple house type may be up to twice that of the best finished one for the same energy. It has also been confirmed that due to the structure of buildings in tropical climate areas being more light than those used in temperate climate areas, a lower protection to outdoor deposited radioactive material is provided to the residents, when compared with similar houses from temperate climate areas [38,39,40,41].

## 2.5 Improvements to Assessment Tools

After the development of SIEM, several improvements have been performed in order to better adequate the model to Brazilian social, political, economic and climatic characteristics: (i) the ECOSYS database has been adapted for Brazil, particularly for the 50-km area surrounding the NPPs in Angra dos Reis including parameter values adequate to the area according to the types of soil and crops found in the area and also incorporating local seasonal information of crops production and animal breeding practices [42,43]; (ii) the model PARATI was extended to allow the simulation of other relevant nuclides after a nuclear accident, such as Ru, I and Sr isotopes [44,45]; and, (iii) the characteristics of typical Brazilian building material raised in order to have more realistic shielding information were also implemented at SIEM.

Through a cooperation agreement supported by IAEA and the United States department of Energy (US-DOE), the National Atmospheric Release Advisory Center of the Lawrence Livermore National Laboratory (NARAC/LLNL) model IXP [46,47], for the initial phase assessments of an atmospheric release after nuclear accident, has been made available on-line to support the IRD environmental assessment capability. This model greatly improves the IRD capacity for short term assessments providing early forecasts of environmental contamination to be used in immediate actions to protect the public and also to guide environmental monitoring after a release of radioactive material to the atmosphere

### 3. Recent works

Accidents that lead to environmental contamination may strongly affect local and regional population. Risks, size and type of contaminated areas, the number of persons potentially affected and public opinion are difficult to be held in a consistent way under the strong social pressure after such accidents. Decision making processes becomes very fragile, frequently leading to the implementation of non-justified measures, regarding both costs and exposure of emergency workers, if solid guidance and criteria are not developed prior to the accident [6,7,8,9,10,11]. Besides that, optimization procedures are very difficult to be performed after an accident as the required information may not be promptly available.

The multi-criteria analysis (MCA) approach has been cited as being a useful tool to be used to support the decision making process after accidents. With this tool, criteria may be established in advance leading to a selection of options that are technically justifiable, turning the decision process more reliable and transparent. This may be a relevant aspect to improve public acceptance about decisions and protective measures adopted [48].

Currently a multi-criteria strategy to support decision making processes after the occurrence of an event of environmental contamination is under development [49]. The work includes several stages:

(i) the development of a database of countermeasures, including the main characteristics to be used as part of the criterion for a decision, such as effectiveness in reducing environmental concentration related to timing and seasonal aspects, wastes characteristics, feasibility and costs of implementation of the measures; the developed database includes 78 protective measures to be applied to urban, rural and aquatic environments. The countermeasures have been classified according to their main characteristics. For urban areas, the countermeasures were classified as cleaning and decontamination procedures, covering the contamination, removing the contamination or restriction on uses of areas. For agricultural areas, the classification was related to change of periods for slaughter or harvest, changes of uses of the contaminated area, changes on animal breeding or feeding habits, changing of environmental characteristics to reduce mobility or to dilute radionuclide content, and processing of products. Each countermeasure has been described by the following types of descriptive fields [50]:

- (a) General description of the countermeasure, including the type of surface to be treated, radionuclides to which the measure has been developed, a summary description of the procedure, and information on the scale of application.
- (b) Radiological protection aspects, describing the exposure pathways affected by the countermeasure, the efficiency on removing contamination with regards to the period of time elapsed since contamination, doses to workers and technical restrictions to its application.
- (c) Infrastructure needed, including equipments, materials, specialized workforce and safety requirements;
- (d) Factors affecting the cost, including qualitative and quantitative estimates of wastes generated by the application of the countermeasure; and,
- (e) Sources of information, including the worldwide actual experience with the actual or experimental application of the countermeasure.

(ii) simulation with SIEM, the pre-selected measures to assess the effectiveness in reducing the dose to the public, taking into account the effectiveness in reducing concentration of specific surfaces, the properties of typical Brazilian environments, habits and seasonal patterns;

(iii) raising costs associated with the implementation of the measures; and,

(iii) development of a computational tool to perform multi-criteria analysis, including the definition of criteria and of weight factors.

At all stages of the work, the pertinent weather and seasonal aspects are considered, in order to obtain a guide to protective actions accounting for site social, economic and climatic characteristics, to be used in multi-criteria optimization processes..

#### 4. Conclusion

After the Goiânia accident, a long term project aiming on developing tools for environmental assessments after an accidental contamination has been developed at IRD/CNEN. Activities developed included the development of software, experimental works to create a database on environmental transfer parameters and information adequate to tropical climate countries, computer simulations of environmental scenarios to derive parameter values and effectiveness of protective measures for typical tropical scenarios. Also the NARAC/LNLL real-time atmospheric dispersion model IXP has been included in the system in order to improve our capacity of dealing with events of environmental contamination. Currently, a database on protective measures is being created to feed a multi-criteria decision making model, also under development. This paper summarizes the main activities developed to improve Brazilian capacity to protect the public after accidental events leading to environmental contamination.

#### REFERENCES

- [1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Goiânia, IAEA, Vienna (1988).
- [2] AMARAL, E.C.S. et al. Distribution of cs-137 in Soils and Decisions for remedial Action during the recovery phase, Health Physics 60 1 (1991) 91-98.
- [3] AMARAL, E.C.S. et al. Radioecological Measurements after the Goiânia Accident. (Radiation research 9th International Congress) Toronto (1991)
- [4] PIRES DO RIO, M.A. et al., The resuspension and redeposition of cs-137 in an urban area: the experience after the Goiânia accident, J. Aeros. Sci. 25 5 (1994) 821-831.
- [5] ROCHEDO, E.R.R. et al. The relative significance of pathways and parameters for the caesium-137 soil decontamination scenario at Goiânia. Environ. Radioact. (1992). v. 15(2) p. 171-183
- [6] ALVES, R.N. et al. Lessons of the radiological accident in Goiânia (International Conference, Goiânia – 10 years later , Goiânia), IAEA (1998) 11-14.
- [7] ROSENTHAL, J.J. et al., The radiological Accident in Goiânia: the initial Remedial Actions, Health Physics 60 1 (1991) 7-15.
- [8] TRANJAN FILHO, A., RABELLO, P.N.P., Acceptance of the site for the construction of the permanent radioactive waste repository at Abadia de Goiás. (International Conference Goiânia – 10 years later) IAEA (1998) 1256-1261
- [9] ROCHEDO E.R.R., The Radiological Accident in Goiânia: Environmental Aspects in Restoration of Environments with Radioactive residues, International Atomic energy Agency, Proceeding Series, p. 365-384, IAEA, Vienna (2000).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group ‘Environment’ Radiological Assessment Reports Series, IAEA, Vienna (2006).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. The Radiological Accident in the Reprocessing Plant at Tomsk. Accident Response Series, IAEA, Vienna (1998)
- [12] MÜLLER H., PRÖHL G., ECOSYS-87: A Dynamic Model for Assessing Radioecological Consequences of Nuclear Accidents, Health Physics, Vol.64, N.3, pp. 232-252, 1993.



- [13] ROCHEDO, E.R.R. et al. PARATI - a dynamic model for radiological assessments in urban areas. Pt. I. Modelling of urban areas, their contamination and radiation fields. *Radiation and Environmental Biophysics* V.35(4) 243-261 (1996)
- [14] ROCHEDO, E.R.R. et al. PARATI - a dynamic model for radiological assessments in urban areas. Pt. II. Specifications of individuals and populations, their radiation exposures and variabilities. *Radiation and Environmental Biophysics* V.36(3) 183-193 (1997)
- [15] ROCHEDO, E.R.R. et al. PARATI - a dynamic model for radiological assessments in urban areas. Pt. III. Parameter uncertainty analysis. *Radiation and Environmental Biophysics* V.36(4) 285-292 (1998)
- [16] CONTI, L.F.C. et al. Desenvolvimento de um sistema integrado para avaliação de impacto radiológico ambiental em situações de emergência. *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, São Paulo, V.4, N.3, p.872-879 (2002).
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions during a Reactor Accident. IAEA TECDOC Series No. 955 (1997)
- [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Generic Procedures for Assessment and Response during a Radiological Emergency. IAEA TECDOC Series No. 1162 (2000)
- [19] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANISATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, WORLD HEALTH ORGANIZATION, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996).
- [20] ECKERMAN K.F., Ryman J.C. External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil. Federal guidance Report N.12, US-EPA (1993).
- [21] ROCHEDO E.R.R. et al. Avaliação a longo prazo das ações de remediação após o acidente radiológico de Goiânia. (V Encontro Nacional de Aplicações Nucleares) Rio de Janeiro (2000) (CD-ROM).
- [22] WASSERMAN, M.A.M., BELÉM, L.J., Valores de Transferência do <sup>137</sup>Cs de Latossolos para Plantas Comestíveis (VI Congresso Geral de Energia Nuclear) Rio de Janeiro (1996) (CD-ROM).
- [23] WASSERMAN, M.A.M., The behaviour of caesium-137 In oxisols and Goiânia Soil (International conference Goiânia, Ten Years Later) IAEA, pp.346-353 (1998).
- [24] WASSERMAN, M.A.M. et al. "Plant uptake processes related to geochemical behaviour of radionuclides in some Brazilian soil" FAO/IAEA/IUR Research Coordination Meeting on the Co-ordination Research Programme on Classification of Soil Systems on the basis of Transfer Factors of Radionuclides from Soil to Reference Plants, Izmir, 1999.
- [25] ROCHEDO, E.R.R. et al. The Relevance of Site Specific Data on Environmental Impact Assessment. (V Regional Congress on Radiation Protection and Safety) Recife (2001) (CD-ROM).
- [26] ROCHEDO, E.R.R., WASSERMAN M.A.V. Avaliação de Impacto Ambiental: Uso de Dados Genéricos Versus Uso de Valores Específicos para o Local – Caso do Fator de Transferência Solo-Planta. (V Encontro Nacional de aplicações Nucleares) Rio de Janeiro (2000) (CR-ROM).
- [27] WASSERMAN, M.A.M. et al. Assessment of the mobility and Bioavailability of <sup>60</sup>Co and <sup>137</sup>Cs in contaminated soils (V Regional Congress on Radiation Protection and Safety) Recife (2001) (CD-ROM).
- [28] WASSERMAN, M.A., et al., Biogeochemical behavior of Cs-137 and Co-60 in tropical soils, *Radioprotection - Revue de la Société Française de Radioprotection*, Aix-en-Provence, 37 (2002) 277–282.
- [29] WASSERMAN, M.A.M. et al., Valores de Transferência Solo-Planta de Cs-137 em Solos de Sistemas Agro-Ecológicos Tropicais. *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento* 4 (3), 737 – 741 (2002).
- [30] FRISSEL, M.J. et al., Generic values for soil-to-plant transfer factors of radiocesium, *Journal of Environmental Radioactivity*, 58 (2002) 113–128.
- [31] INTERNATIONAL UNION OF RADIOECOLOGISTS. VIth Report of the Working Group Soil-to-Plant Transfer Factors, IUR Report prepared by RIVM, Bilthoven, Netherlands, 1989.

- [32] WASSERMAN, M.A.M. et al. Plant Uptake Processes Related With The Geochemical Behaviour Of Radionuclides In Some Brazilian Soils. IAEA-TECDOC-1497 Classification of soil systems on the basis of transfer factors of radionuclides from soil to reference plants. IAEA (2006) p.39-50
- [33] WASSERMAN, M.A.M. et al. A way to assess radio-vulnerability of agro-ecosystems. (9th Conference on Chemistry and the Environment and 2nd Meeting on Environmental Chemistry) Bordeaux, France.
- [34] WASSERMAN, M.A.M. et al., 2005a. Biogeochemical behaviour of Sr-90 and Cs-137. *Radioprotection* 40 (1), 135-142.
- [35] WASSERMAN, M.A.M. et al. Soil to plant transfer of Cs-137 and Co-60 in Ferralsol, Nitisol and Acrisol. *Journal of Environmental Radioactivity* (2008).
- [36] WASSERMAN, M.A.M. et al. The effect of organic amendment on potential mobility and bioavailability of <sup>137</sup>Cs and <sup>60</sup>Co in tropical soils. *Journal of environmental Radioactivity* (2008).
- [37] MACACINI J.F. et al. Fatores de Translocação de <sup>60</sup>Co, <sup>90</sup>Sr e <sup>137</sup>Cs em Batateira e Milheiro. (VI Encontro Nacional de Aplicações Nucleares) Rio de Janeiro (2002) (CD-ROM).
- [38] SALINAS, I.C.P. et al., “Effect of Windows and Doors on the Gamma Shielding Factor for Typical Houses in Brazil”, *Health Physics*
- [39] SALINAS, I.C.P. et al. Effective Density and Mass Attenuation Coefficient for Building Material in Brazil”, *Applied Radiation and Isotopes*, 64, pp. 13-18.
- [40] SALINAS, I.C.P. et al. Gamma Shielding Factor for Typical Houses in Brazil. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 121, p. 420-424 (2006)
- [41] R. MECKBACH, et al. “Gamma Exposures Due to Radionuclides Deposited in Urban Environments. Part I: Kerma Rates from Contaminated Urban Surfaces”, *Radiation Protection Dosimetry* Vol.25 N.3, pp. 167-180 (1988).
- [42] VINHAS, D.M. et al. Modeling the Dynamics of Radionuclide Concentration in Animal Derived Products after an Accident in Tropical areas (1st. National Congress on Radiological Protection) Rio de Janeiro (2005) (CD-ROM).
- [43] VINHAS, D.M. et al. Modeling the Dynamics of Radionuclide Concentration in Food after an Accident in Tropical Areas – CPq
- [44] VETERE, M.I.C. et al. Environmental behavior of accidentally released radionuclides in urban environments. (V Regional Congress on Radiation Protection and Safety) Recife, CNEN/IRPA (2001).
- [45] VETERE, M.I.C. et al. Aplicação do Sistema Integrado de Avaliação de Impacto radiológico Ambiental em situações de Emergência para a avaliação da Exposição Radiológica de Populações de Áreas Urbanas. *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, São Paulo, Brasil, V.4, N.3 (1), 729-736 (2002).
- [46] NASSTROM, J.S. et al. Advisory Center (NARAC) Modeling and Decision Support System for Radiological and Nuclear Emergency Preparedness and Response. Report UCRL-JRNL-211678. *International Journal of Risk Assessment and Management Special Issue: Nuclear and Radiological Emergency Preparedness - The Role of Monitoring and Modeling in an Emergency Situation* (2005)
- [47] BRADLEY M.M. et al. Models and Measurements: Complementary Tools for Predicting Atmospheric Dispersion and Assessing the Consequences of Nuclear and Radiological Emergencies. Report UCRL-PROC-216924. *International Conference on Monitoring, Assessments, and Uncertainties for Nuclear and Radiological Emergency Response*, Rio de Janeiro (2005)
- [48] SCHENKER-WICKI, A. The Use of Multi-criteria Analysis (MCA) for Evaluating Feasible Countermeasures after an Accidental Release of Radioactivity. *IVth International Symposium of Radioecology*, Cadarache, France, (1988)
- [49] PEREIRA, J.F. - Avaliação das Medidas de Proteção em caso de Acidente Nuclear e/ou Radiológico em Território Brasileiro através da abordagem Multicritério em Apoio a um processo de tomada de Decisão - PhD Thesis, UFRJ - In preparation
- [50] SILVA, D.N.G. et al. – Catálogo de Medidas de Proteção. Instituto de Radioproteção e Dosimetria – In preparation

**IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE**  
**PAS para a PAZ**  
**Rio de Janeiro – 6 a 10 de Julho de 2009**

**MEDIDAS DE PROTEÇÃO PARA O PÚBLICO E DE RECUPERAÇÃO DE**  
**ÁREAS CONTAMINADAS POR ACIDENTES RADIOLÓGICOS**

Diogo Neves Gomes da Silva\*<sup>1</sup>, Elaine Rua Rodriguez Rochedo<sup>2</sup>, Maria Angélica Vergara Wasserman<sup>1</sup>, Luiz Fernando de Carvalho Conti<sup>1</sup>. [dneves@ird.gov.br](mailto:dneves@ird.gov.br)

1. Instituto de Radioproteção e Dosimetria/Rio de Janeiro/RJ, 2. Comissão Nacional de Energia Nuclear/Rio de Janeiro/RJ

**(RESUMO)** A seleção de medidas de proteção e de remediação de áreas após um acidente radiológico deve ter uma base estabelecida previamente, de forma a minimizar o desgaste emocional das pessoas e a exposição de trabalhadores. Este trabalho, portanto, visa desenvolver uma base de dados para dar suporte a um processo de tomada de decisão. Primeiramente, foi montado um catálogo onde as medidas de proteção/remediação são descritas por critérios selecionados e estabelecidos. Em seguida determinou-se a eficácia destas medidas na redução de doses, utilizando-se o código SIEM – Sistema Integrado de Emergência, para a simulação de cenários básicos pré-estabelecidos. Os resultados destas simulações são resumidos em um banco de dados que servirá de base para a implantação do processo multicritério para apoio à tomada de decisão em situações de acidentes radiológicos.

**(INTRODUÇÃO)** Uma das preocupações atuais no cenário internacional é o estudo das consequências de acidentes e de outros eventos que levem à contaminação do meio ambiente e à exposição do público. Com base nesse fato, o IRD (Instituto de Radioproteção e Dosimetria) tem desenvolvido ferramentas de apoio para processos de tomada de decisão após acidentes nucleares ou radiológicos, visando à proteção do público, dentro do projeto de modelagem ambiental. Para isso, elaborou o código SIEM – Sistema Integrado de Emergência [1], que inclui principalmente dois modelos: o modelo CORAL, utilizado para avaliar contaminações de áreas rurais, desenvolvido com base no modelo alemão ECOSYS [2] e o modelo PARATI [3], desenvolvido para avaliar as consequências de uma contaminação em áreas urbanas. Diversos trabalhos se seguiram, com o objetivo de levantar dados que permitissem melhorar a resposta destes modelos, de forma a levar em conta características relacionadas ao Brasil, em relação a clima, tipo de solo, tipo de material de construção, dieta, entre outros [4,5,6].

A seleção de medidas de proteção e de estratégias de remediação de áreas após um acidente precisa ter uma base estabelecida previamente, o que permitirá uma minimização tanto do desgaste emocional dos usuários da área afetada, quanto da exposição de trabalhadores devido à implementação de medidas que não tenham resultados efetivos na redução de doses no público.

Recentemente, foi elaborada uma base de dados de medidas de proteção e de remediação para a proteção do público após um evento de contaminação ambiental. Esta base, inserida no SIEM, permite a simulação de diversos cenários de contaminação do meio ambiente, de forma a avaliar a eficácia das diversas opções de medidas de proteção na redução de doses para o público, em função do momento de sua aplicação e do cenário de acidente simulado [7]. Esta base de dados contempla 78 medidas de proteção possíveis de serem aplicadas a ambientes urbanos, rurais, aquáticos e florestais. As medidas são então descritas de acordo com os seguintes aspectos:

- (a) aspectos gerais: nome, tipo de superfície onde é aplicada, descrição da medida, radionuclídeos a que se aplicam;
- (b) aspectos técnicos: vias de exposição envolvidas, momento de aplicação, restrições técnicas e eficácia na remoção da contaminação, fatores que influenciam a dose evitada e dose em trabalhadores;
- (c) infra-estrutura; este item inclui campos que descrevem os equipamentos e materiais necessários para a implementação da medida, necessidade de treinamento e precauções de segurança, bem como outros fatores que podem influenciar o custo de implementação da medida;

**IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE**  
**PAS para a PAZ**  
**Rio de Janeiro – 6 a 10 de Julho de 2009**

- (d) rejeitos: tipos e quantidades de rejeitos gerados;
- (e) outras considerações: outros impactos não-radiológicos associados à implementação da medida, experiência pratica existente e referências bibliográficas sobre a medida.

De um modo geral, a informação encontrada na literatura sobre a eficiência das medidas é apenas qualitativa ou se refere apenas ao efeito da medida em reduzir a concentração nos meios ambientais onde a medida é aplicada. Desta forma, para verificar a eficácia das medidas na redução de doses, em função do momento de sua aplicação, foram realizadas diversas simulações, em diferentes cenários, variando o momento de aplicação da medida, utilizando os fatores de redução de concentração nas superfícies devido à aplicação das medidas, encontrados na literatura [8,9].

**(OBJETIVOS)** O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma base de dados que permita dar suporte a um processo de tomada de decisão, baseado no tipo de acidente e no tipo de ambiente afetado, incluindo o efeito na dose em membros do público, em função do momento de aplicação da medida. Para tanto, neste primeiro momento, o cenário escolhido considerou a contaminação de ambientes urbanos. Assim, foram efetuadas, utilizando-se o código SIEM, várias simulações necessárias para se observar o efeito na dose devido à implementação de medidas de proteção após uma contaminação de uma área urbana, em função do tipo de ambiente urbano e do momento de aplicação da medida.

**(METODOLOGIA)** Neste trabalho, foi utilizado o código SIEM. As doses foram estimadas utilizando o modelo PARATI, incluído no SIEM. Em cada simulação, a taxa de dose dentro das casas e a dose integrada para adultos, numa ocupação de 24 horas no ambiente interno de cada uma das casas, foi acompanhada por um período de 50 anos. Foram inicialmente avaliados seis cenários simples:

- Casa 1 – casa de madeira, típica de ambientes europeus [10];
- Casa 2 – casa de alvenaria sem acabamento;
- Casa 3 – casa de alvenaria com acabamento parcial;
- Casa 4 – casa de alvenaria com acabamento por fora e por dentro;
- As casas 3, 4, e 5 pretendem simular residências tipicamente brasileiras e apresentam blindagens conforme descrito por Salinas *et al* [5].
- Casa 5 – casa de alvenaria com acabamento duplo, típico para casas alemãs [10].
- Parque – área aberta, gramada e com árvores.

Nesta primeira abordagem, foi considerado que todas as casas possuíam apenas um andar, com forro do próprio material de construção, sem telhado, e que estavam localizadas no centro de uma área gramada.

As medidas de remediação simuladas foram:

- Corte de grama – foi considerado como sendo realizado no entorno das cinco casas e na área do parque, aplicada em diferentes momentos após a contaminação (1 semana, 15 dias, 1 mês e 6 meses);
- Capina – esta medida inclui a remoção do gramado e a região da rede de raízes, isto é, cerca de 1 cm d camada de topo do solo;
- Remoção de solo – é a retirada de uma camada de 5 cm da superfície do solo;
- Raspagem de paredes.

**(RESULTADOS)** A Figura 1 apresenta os resultados de dose integrada e taxa de dose nos ambientes urbanos simulados sem aplicação de medidas de remediação. Observa-se que todas as casas oferecem blindagem significativa, quando comparadas com as áreas externas (parque), porém com diferenças relacionadas ao tipo de material de construção. As casas de alvenaria simples, sem acabamento (casa 2), típicas das favelas do sudeste do Brasil, oferecem proteção semelhante às casas europeias de madeira (casa 1), enquanto que nossas casas de alvenaria com bom acabamento (casa 4) oferecem blindagem significativamente inferior àquela das casas europeias (casa 5), devido às diferenças de densidade e composição do material dos tijolos, conforme observado por Salinas *et al*. [5,11].

**IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE**  
**PAS para a PAZ**  
**Rio de Janeiro – 6 a 10 de Julho de 2009**

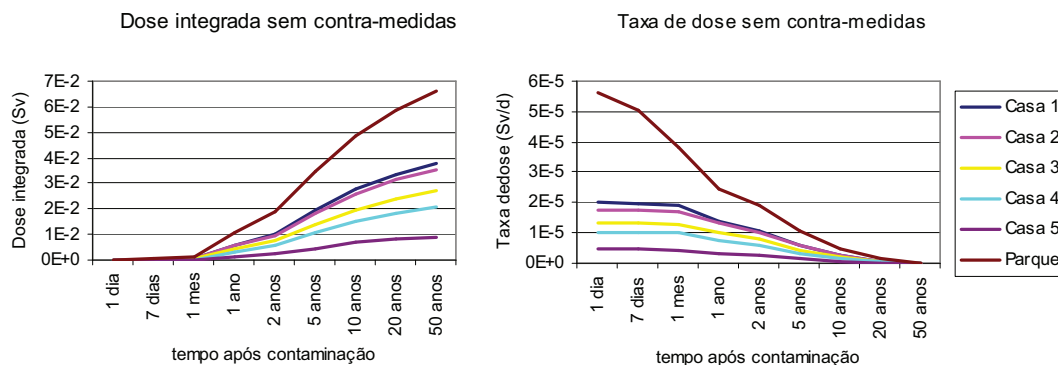


Fig.1 - Dose integrada e taxa de dose nos ambientes simulados, sem aplicação de medidas.

A Figura 2 apresenta a redução percentual na dose integrada devido ao corte de grama, uma semana após o evento de contaminação. Observa-se que a diferença entre as curvas a longo prazo (a redução), em termos percentuais, é muito semelhante para todos os ambientes simulados. Deve, no entanto, ser observado que a mesma redução percentual na dose, decorrente da aplicação de uma medida de remediação, vai levar a reduções diferentes nas doses efetivamente recebidas pelas pessoas. A Figura 3 apresenta o resultado da aplicação da mesma medida em diferentes momentos, para uma das casas. Observa-se que o efeito na redução das doses é semelhante para o caso de aplicação da medida a curto prazo; porém, após o primeiro mês, a eficácia começa a diminuir, sendo nula se aplicada 6 meses após a contaminação.

Este mesmo tipo de comportamento (Figura 3) também pode ser observado para a remoção do solo (Figura 4); isto é, em termos percentuais, o efeito do momento de aplicação da medida é mais pronunciado do que o tipo de ambiente considerado. Porém, observa-se que as medidas são eficazes na redução de dose a longo prazo, mesmo se aplicadas 1 ou 2 anos após a contaminação. Este tipo de medida, então, pode ser aplicada a médio prazo, permitindo um planejamento adequado de gerenciamento do rejeito gerado.

A Figura 5 mostra o efeito da raspagem de paredes. Observa-se que o efeito na redução de doses é muito inferior ao efeito de medidas aplicadas ao solo e à grama; porém em algumas situações, ela pode ser aplicada, particularmente a curto prazo, porque a remoção imediata da contaminação evita que esta venha a ser deslocada de forma não controlada, por exemplo, por chuvas, para as superfícies horizontais subjacentes, criando pontos localizados de maior contaminação ao redor das casas.

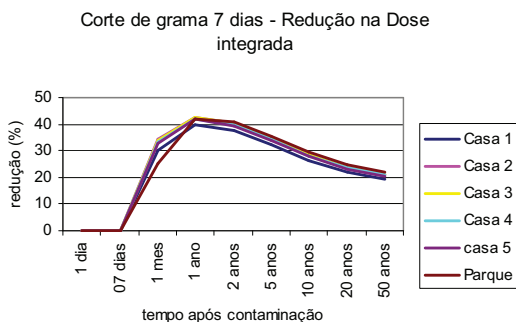


Fig. 2 – Redução na dose integrada devido à remoção de grama 7 dias após a contaminação.

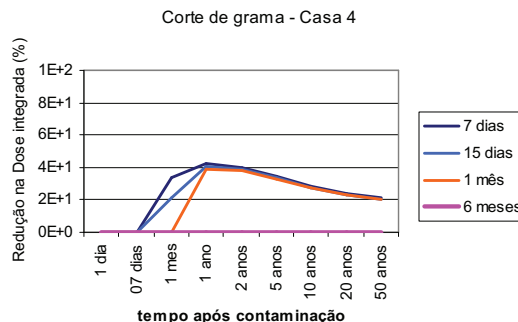


Fig. 3 – Redução na dose integrada devido à remoção de grama aplicada em diferentes momentos.

**IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE**  
**PAS para a PAZ**  
**Rio de Janeiro – 6 a 10 de Julho de 2009**

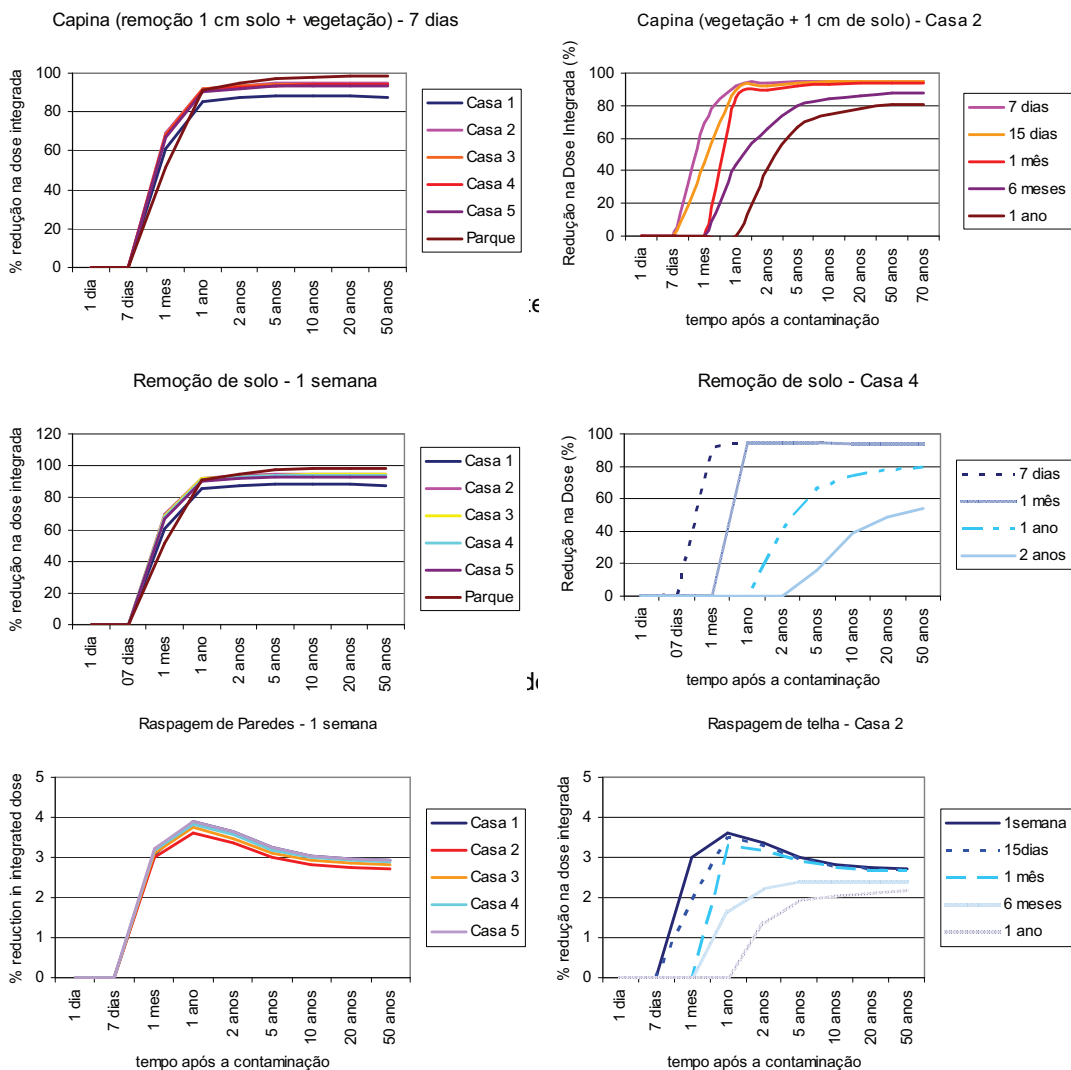


Fig. 5 – Efeito da raspagem de parede das casas.

Os resultados obtidos para o cenário descrito e que serão incorporados ao banco de dados do modelo multicritério estão resumidos na Tabela 1.

Tabela 1. Efeito da aplicação das principais medidas de remediação para áreas urbanas:

Medida aplicada	Momento de Aplicação	Redução na Dose Integrada (%)	
		Médio Prazo (1 ano)	Longo Prazo (50 anos)
Corte de grama	1 a 30 dias	25 - 30	20
	> 60 dias	0,01	0
Capina	1 a 6 meses	80	90
	6 meses a 1 ano	40	80
Remoção de solo	1 a 6 meses	90	90
	6 meses a 1 ano	40	80
	1 a 2 anos	-	50
Raspagem de paredes	< 6 meses	3	3
	6 meses a 1 ano	1	2

**IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE**  
**PAS para a PAZ**  
**Rio de Janeiro – 6 a 10 de Julho de 2009**

**(CONCLUSÃO)** A diferença observada nas doses nos diferentes compartimentos urbanos simulados comprova a necessidade de efetuar uma avaliação dos efeitos das medidas, considerando parâmetros locais, e não gerais. A partir dos resultados obtidos nos exemplos deste trabalho, é possível verificar claramente que a redução da dose varia em função da medida de remediação aplicada, bem como em função do momento de aplicação, sendo que, para o ambiente urbano, a remoção do solo e a capina foram as contramedidas mais eficientes, principalmente quando aplicadas nos primeiros meses após a contaminação. As informações relativas ao efeito da aplicação de medidas de remediação, em função do momento de sua aplicação, serão adicionadas ao banco de dados que servirá de base ao modelo multicritério de tomada de decisão, atualmente em desenvolvimento no IRD.

**(BIBLIOGRAFIA)**

[1] CONTI, L.F.C. et al. Desenvolvimento de um sistema integrado para avaliação de impacto radiológico ambiental em situações de emergência. Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento, São Paulo, V. 4, N. 3, p. 872-879 (2002).

[2] MÜLLER H., PRÖHL G., ECOSYS-87: A Dynamic Model for Assessing Radioecological Consequences of Nuclear Accidents, Health Physics, Vol. 64, N. 3, pp. 232-252 (1993).

[3] ROCHEDO, E.R.R. et al. PARATI - a dynamic model for radiological assessments in urban areas. Pt. I. Modelling of urban areas, their contamination and radiation fields. Radiation and Environmental Biophysics V. 35(4) 243-261 (1996).

[4] ROCHEDO, E.R.R., WASSERMAN M.A.V. Avaliação de Impacto Ambiental: Uso de Dados Genéricos Versus Uso de Valores Específicos para o Local – Caso do Fator de Transferência Solo-Planta. (V Encontro Nacional de aplicações Nucleares), Rio de Janeiro (2000) (CR-ROM).

[5] SALINAS, I.C.P. et al. Gamma Shielding Factor for Typical Houses in Brazil. Radiation Protection Dosimetry, v. 121, p. 420-424 (2006).

[6] WASSERMAN, M.A.M. et al., Valores de Transferência Solo-Planta de Cs-137 em Solos de Sistemas Agro-Ecológicos Tropicais. Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento 4 (3), 737 – 741 (2002).

[7] SILVA, D.N.G. et al. – Catálogo de Medidas de Proteção. Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Em preparação.

[8] ANDERSSON, K. G. et al. Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas. Riso National Laboratory, Roskilde (2003).

[9] NISBET A. et al. UK Recovery Handbook for Radiation Incidents: 2008. HPA-RPD-042 – Health Protection Agency, UK (2008).

[10] R. MECKBACH et al. "Gamma Exposures Due to Radionuclides Deposited in Urban Environments. Part I: Kerma Rates from Contaminated Urban Surfaces", Radiation Protection Dosimetry Vol.25 N.3, pp. 167-180 (1988).

[11] SALINAS, I.C.P. et al. Effective Density and Mass Attenuation Coefficient for Building Material in Brazil", Applied Radiation and Isotopes, 64, pp. 13-18.

**Agradecimentos:** À CNEN e ao IRD (pelo suporte oferecido), ao CNPq (pelas bolsas fornecidas de iniciação científica e de desenvolvimento tecnológico).

# REMEDIATION STRATEGIES AFTER NUCLEAR OR RADIOLOGICAL ACCIDENTS: PART 1 – DATABASE DEVELOPMENT

**Diogo N. G. Silva<sup>1</sup>, Elaine R. R. Rochedo<sup>2</sup>, Maria Angélica V. Wasserman<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Radioproteção e Dosimetria  
Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Av. Salvador Allende , s/n  
22780-160 Rio de Janeiro, RJ  
dneves@ird.gov.br  
angelica@ird.gov.br

<sup>2</sup> Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Rua da Passagem 123 9º andar  
22290-030 Rio de Janeiro, RJ  
erochedo@cnen.gov.br

## ABSTRACT

The selection of protective measures and of remediation strategies of areas after a nuclear or radiological accident needs to be based on previously established criteria, in way to minimize the public's emotional stress and the exposure to workers involved in cleanup operations due to the implementation of procedures that are not effective in reducing doses to the public. Thus this work intended to develop a database which allows supporting the decision-making process after these accidents, by describing the foreseen strategies according to the type of accident and the type of affected environment, in order to be used in a multi-criteria selective process. To achieve that, in this first stage, the database has been developed including the following aspects: type of environment (urban, rural or aquatic); their contamination removal efficiency, as function of the time elapsed since the contamination event; the type and the amount of waste generated in the application of the strategy; the expected doses to the work team and basic needs such as specific materials, equipments, training, IPE, among others. The protection measures are usually described in literature considering their activity removal efficiency of a certain surface or environment. In order to determine their efficiency in the reduction of doses, a second stage is foreseen, involving the simulation of the implementation of the measures in different moments after the contamination, based on pre-defined accidents and scenarios, with focus on the surroundings of the Brazilian Nuclear Power Plants in Angra dos Reis.

## 1. INTRODUCTION

One of the current concerns in the international scenery is the study of the consequences of accidents and other events that lead to the contamination of the environment and the public's exposure. Since the Goiânia accident, in 1987 [1, 2], the IRD (Institute of Radiological Protection and Dosimetry) of CNEN (National Nuclear Energy Commission) has been developing tools to support decision-making processes after nuclear and radiological accidents, seeking the protection of the public. As part of the environmental modeling project, it was elaborated the code SIEM – Integrated System of Emergency [3], that includes mainly two models: CORAL, used to evaluate the long-term consequences of a contamination of



rural areas, developed after the German model ECOSYS [4], and PARATI [5], developed to assess the consequences of a contamination in urban areas. Several works were conducted simultaneously with the objective of gathering data to improve the output of these models, considering typical Brazilian characteristics related to climate, soil type, type of construction material, diet, among others [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

The selection of protective measures and remediation strategies for contaminated areas after an accident needs to be based on previously established criteria, in order to minimize both the emotional stress of residents, workers and users of the area and the radiological exposure of workers involved in the application of such measures.

After the Tomsk accident, in 1987, an assessment of the protective and remediation measures applied in the heat of public concern was shown to be ineffective in reducing doses to public while leading to exposure of the workforce involved in the activities of remediation [15].

To avoid repeating such experience and considering the large database described in literature on protective and remediation measures, several countries are now working in the building of databases to be used after an event leading to environmental contamination in a way to support decision-making processes based in a multi-criteria decision supporting tool [16, 17].

As most of the described decontamination strategies have been developed for specific accident and environmental conditions, there was the need to adapt such strategies to fit specific characteristics of tropical climate areas and to habits and uses of areas in Brazil. The objective of this work was then the development of a database on remediation strategies for accidentally contaminated areas adequate to tropical climate areas, as a first step on the development of a multi-criteria support tool for a decision-making process.

## **2. METHODOLOGY**

The database on protective and remediation measures was elaborated and developed mainly based on literature data [18, 19, 20, 21, 22]. Information on each specific measure was organized in order to fulfill the basic technical information needed for a multi-criteria approach to support a decision-making process after an accident.

For each measure, its adequacy to tropical environments has been analyzed. As so, those that are to be applied in relation to ice and snow have been removed; comments were included for those that need specific materials and/or equipments that may not be easily available and also to those that don't consider the possibility of changes on the use of the area in medium to large terms.

For each type of environment, the measures have been divided according to their main characteristics. There may also be subdivision according to the type of surface to which the measure may be applied. The description of the measures includes 5 main groups of information, named "General Aspects", "Technical Aspects", "Infrastructure", "Wastes" and "Other Aspects". Each of these main groups is subdivided into fields as described below:

- Under the fields described in General Aspects, there are described the type of area involved, e.g., urban, rural or aquatic environments, the goal of applying the measure, its main characteristics, the main features of how it is to be applied in order to effectively reduce public exposure, the type of exposure that will be changed, the surfaces that will be the target of the procedures, and the radionuclides for which it may be useful in reducing exposures. An additional field describes also the scale of application, e.g., if the measure is feasible to be applied for large contaminated areas or for individual houses and buildings;

- Technical Aspects fields includes a description of exposure pathways and main processes to be affected to reduce exposure, the measure effectiveness in reducing doses and the best period to apply it in order to get the highest benefit; under technical restrictions, there are specific characteristics of the target surface that may affect the effect of the measure, such as finishing material, type of crop, type of building, and so on; factors affecting averted doses to the public may include aspects such as demographic density and population habits and a specific field describes expected dose to workers involved in the cleanup operation;

- Fields included under the title of Infrastructure are mainly related to the feasibility of the use of the measure and main aspects related to the cost of its application. As so, it includes the need for specific equipments and materials, the need for skilled people or the need for training people to operate machines or equipment, safety aspects related to both workers and the public and the need for precautionary side actions, and other aspects that may affect the cost of implementing the area such as size of the area or layout complexity of the area to be cleaned;

- An important aspect that will also influence costs and exposures is the type and amount of wastes generated in the operations; the waste management, however, is not assessed in the database, and only the wastes main characteristics are described; and,

- Under the fields “Others Aspects”, there are described other impacts foreseen by the application of each specific measure, the practical experience with the measure worldwide, references, and other aspects that may need to be considered in a decision-making process, such as the need for long-term control of the area, or optional variability on the main procedure according to specific characteristics of the area.

Psychological and other aspects related to public acceptance have also not been included as cultural differences are significant between Brazil and those countries where practical experience from Chernobyl accident are described in current literature. Also, the economic aspects are to be developed in a separate detailed work, mainly due to the large diversity of available resources depending on the type and the location of the affected area.

The overall structure of the database is described in Table 1.

**Table 1: Structure of the database**

<i>General Aspects</i>	Name of measure
	Surface where the measure is to be applied
	Type of measure
	Description
	Target
	Radionuclides for which the measure is effective
	Scale of application
<i>Technical Aspects</i>	Exposure pathways – processes affected that reduce exposure
	Moment of application (efficiency)
	Technical restrictions
	Effectiveness of the measure
	Factors affecting averted doses to the public
	Additional doses (e.g., dose to workers)
<i>Infrastructure</i>	Factors that may influence the efficiency
	Need for specific equipments
	Need for materials
	Need of skilled people and/or training
	Safety considerations
	Factors affecting costs
<i>Wastes</i>	Type
	Amount
<i>Other Aspects</i>	Other impacts
	Actual experience
	References
	Comments

### 3. RESULTS

The database contemplates 75 possible protective and remediation measures that may be applied to urban, rural and aquatic environments. The measures selected to be included in the database are described on Tables 2, 3 and 4. An example page of the database is presented on Table 5.

**Table 2: Measures described for urban environments**

Type of measure	Name of measure
1. Physical removal	Road planning
	Cutting grass
	Turf harvesting
	Pruning or removing trees and bushes.
	Top soil removal with coating material
	Top soil removal (manual)
	Top soil removal (mechanical)
	Removal of pavement stones and tiles
	Removal of roof tiles
2. Cleaning/Washing	Vacuum sweeping roads and walkways
	Fire hosing roads and walkways
	High pressure washing of walls
	Treatment of walls with chemical products
	Mechanical abrasion of walls
	Washing roofs with high pressure water
	Cleaning of roofs with special cleaning devices
	Internal surfaces cleaning
3. Covering	Turning flagstones
	Covering areas with sand or soil
	Covering areas with cement or asphalt
	Triple digging
4. Diluting	Garden digging

**Table 3: Measures described for aquatic environments**

Type of measure	Name of the measure
Water	Provide alternative water source
	Treatment of the water
	Change of the water caption regime
	Controlled mix of the water
Fish	Prohibit fishing
	Limitation of the types and of the amounts of consumed fish
	Processing of the fish
	Provide uncontaminated pelleted feed
	Treat water and/or sediment
	Drainage of lakes and removal of top sediment layer

**Table 4: Measures described for rural environments**

Type of measure	Name of measure
Avoid contamination – Vegetables	Avoid direct contamination of agricultural products
	Harvest crops before contamination
	Cover cultivated areas with water impermeable sheeting
Avoid contamination – Animals	Prevent the ingestion of contaminated herbage by grazing animals
	Prevent animals eating highly contaminated feeds
Dilution	Normal ploughing; Deep ploughing
Removal of the Contamination	Removal of top soil layer
	Destroy animal products
	Prohibit of hunting and fishing; Consumption of vegetables; Water
Covering the contamination	Skim and bury
	Stabilization of soil surface to prevent resuspension
Change of use of the contaminated area – Vegetables	Selection of appropriate variety of agricultural product
	Selection of alternative agricultural product
	Cultivation of edible agricultural products that can be processed
	Selection of products that accumulate low radionuclide level
	Cultivation of non-edible products
Change of use of the contaminated area – Animals	Grow forage crops with lower tendency for contamination
	Use of the area for non-dairy animals or for animals not intended for immediate slaughter
	Alter animal species
	Deviation of products from human consumption to animal feed
	Processing milk for storable products
	Removal from contaminated areas/provide uncontaminated feeds
Treatment – Soil	Lime acid soils
	Apply saptopel (organic residues); Apply aluminosilicates
	Apply potassium fertilizers; Apply soluble phosphate fertilizers
Treatment – Animal	Supply of Prussian Blue in tablets for fast decontamination
	Supply low release Prussian Blue boli for slow decontamination
	Supply of Prussian Blue in salt-licks
	Supplement the diet with clay minerals or zeolites
	Increase of the fiber content of the diet
	Provide of high calcium diet
	Provide alginate with diet to reduce gut absorption
	Addition of stable iodine in the animal feed
Change of practice – Vegetables	Harvest crops and grass for discard or storage
	Delay the harvest of forage/crops
Change of practice – Animal	Increase of the height of the cut during when harvesting forage
	Change slaughter time
Monitoring control	Monitoring animals before slaughter

**Table 5. Example database sheet**

<b>Type of area</b>	<b>Residential/Urban</b>
<b>Target surface</b>	roads, walkways, other paved surfaces
<b>Type of measure</b>	removal/washing
<b>Name</b>	<b>Fire Hosing</b>
<b>Objective</b>	to reduce external dose in the área.
<b>Description</b>	Use of fire hosing equipment for removal of the contamination on horizontal paved surfaces. Water can be taken from a hydrant, if available, or from a river or lake.
<b>Radionuclide</b>	Cs
<b>Scale of application</b>	Can be carried out in densely populated areas of limited dimensions, where the equipment is more or less readily available.
<b>Exposure pathway</b>	External exposure
<b>Time of application</b>	Should be carried out as early as possible, within the first few weeks to have a significant effect, when the radiological situation is clear, but workers doses must be considered.
<b>Technical restrictions</b>	The waste is generally impossible to collect and must be led to the drains with the run-off water. Special care should be taken to avoid accumulating waste by the roadside.
<b>Effectiveness</b>	Reduction of contamination by typically 50-75% is normally achievable, if the procedure is carried out early. The effect is significantly reduced within a week after contamination due to fixation.
<b>Technical factors affecting effectiveness</b>	Amount of dust road at time of contamination; road surface type (particle size of dust); time of operation (fixation; also traffic removes much of the loosely held contamination thus reducing the effectiveness).
<b>Required equipment</b>	Hosepipe; petrol for pump, if required.
<b>Required utilities</b>	Water; petrol for pump, if required.
<b>Required skills</b>	The local fire brigade has experience that could be drawn upon, but also military/local inhabitants could perform the operation, given little instruction.
<b>Safety requirements</b>	Water-resistant clothing is recommended for strongly contaminated areas.
<b>Factors affecting costs</b>	Distance to equipment and consumables; need for a pump.
<b>Waste amount</b>	Typically some 100-200 g m <sup>-2</sup> (contamination level ca. 5-10,000 Bq m <sup>-3</sup> per Bq m <sup>-2</sup> ) of solid waste in some 0,25 m <sup>3</sup> m <sup>-2</sup> of water.
<b>Waste type</b>	The waste is generally impossible to collect and special care should be taken to avoid accumulating waste by the roadside.
<b>Factors affecting averted dose</b>	Highly dependent on environment type. The method should not be considered if roads are not equipped with drains.
<b>Additional dose</b>	Depends on short-lived nuclides (time). The dose over a day to an operator may be 2-3 times higher than that to an individual living in the area.
<b>Other impacts</b>	–
<b>Practical experience</b>	Small scale tests conducted in Denmark and USA under varying conditions to exam the influence of, e.g., street dust loading
<b>References</b>	A1, B1, R3, R4, R7
<b>Comments</b>	–

#### 4. CONCLUSIONS

This work is part of a larger project, devoted to emergency preparedness that has been developed in stages by IRD, since the Goiânia Accident. It is important for planning emergency responses after nuclear or radiological accidents in Brazil, especially in the surrounding areas of the Nuclear Brazilian Power Plants in Angra dos Reis (Rio de Janeiro).

The protective/remediation measures usually described in literature consider their efficiency in removing activity of a certain surface or environment. In order to determine their efficiency in the reduction of doses, the second stage is also being developed, involving the simulation of the implementation of the measures in different moments after the contamination, based on pre-defined accidents and scenarios. These simulations utilize tropical data from studies carried out in Brazil [23], which consider different characteristics from American or European data.

The effect of the measures, as a function of the type of environment (urban, rural, aquatic, forest) and of the moment of its application will be incorporate to a multi-criteria model to support the decision-making process after an environmental contamination event. This model is also being developed at IRD and later it will be able to work as a great tool for emergency response after this type of accident, avoiding not only unnecessary measures but spending of time for an appropriate response.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank to CNPq for the scholarship support of the scientific initiation work.

#### REFERENCES

1. IAEA - International Atomic Energy Agency. *The radiological accident in Goiânia*. IAEA, Vienna (1988).
2. Health Physics. Special Issue: *The Radiological Accident in Goiânia*. v. **60**, n. 1 (1991).
3. L.F.C. Conti, E.R.R. Rochedo, E.C.S. Amaral. "Desenvolvimento de um sistema integrado para avaliação de impacto radiológico ambiental em situações de emergência". *Revista Brasileira de P&D*, São Paulo, v. **4**, n. 3, p. 872-879 (2002).
4. H. Müller, G. Pröhl. "ECOSYS-87: A Dynamic Model for Assessing Radioecological Consequences of Nuclear Accidents". *Health Physics*, v. **64**, n. 3: 232-252 (1993).
5. E.R.R. Rochedo, L.F.C. Conti, H.G. Paretzke, "PARATI- a dynamic model for radiological assessments in urban areas. Part I. modelling of urban areas, their contamination and radiation fields" *Radiation and Environmental Biophysics*, Germany, v. **35**, p. 243-261, 1996.
6. E.R.R. Rochedo, E.C.S. Amaral, S.M. Bartell. "The relative significance of pathways and parameters for the Cs-137 soil decontamination scenario at Goiânia". *Journal of Environmental Radioactivity*, v. **15**, p. 171-183 (1992).

7. D.M. Vinhas, E.R.R. Rochedo, M.A.V. Wasserman, L.F.C. Conti. "Modeling the dynamics of radionuclide concentration in food after an accident in tropical areas" *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, v. 7, p. 139-144 (2005).
8. E.R.R. Rochedo, M.A.V. Wasserman, C.C. Conti, I.C.P. Salinas. "Modelos Ambientais, Valores de Parâmetros e Incertezas Associadas ao processo de Avaliação de Impacto Radiológico Ambiental em Situações de Acidentes Radiológicos" 2º. *Congresso Acadêmico sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CADMA*, Niterói (2006).
9. M.A.V. Wasserman, A.C. Ferreira, E.R.R. Rochedo, C.C. Conti, A.G. Viana, F. Bartoly, M.M. Silva, D.V. Perez, T.R. Pereira. "Avaliação da Vulnerabilidade de Solos Brasileiros à Contaminação por Cs-137". 2º. *Congresso Acadêmico sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CADMA*, Niterói (2006).
10. I.C.P. Salinas, C.C. Conti, E.R.R. Rochedo, R.T. Lopes. "Gamma Shielding Factor for Typical Houses in Brasil" *Radiation Protection Dosimetry*, v. 121, p. 420-424 (2006).
11. M.A.V. Wasserman, F. Bartoly, A.P. Portilho, E.R.R. Rochedo, A.G. Viana, D.V. Perez, C.C. Conti. "The effect of organic amendment on potential mobility and bioavailability of Cs-137 and Co-60 in tropical soils" *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 99, p. 554-562 (2008).
12. E.R.R. Rochedo, M.A.V. Wasserman, M.A.P. do Rio. "The relevance of site specific data on environmental impact assessment" In: *V Regional Congress on Radiation Protection and Safety*, Recife (2001).
13. E.R.R. Rochedo, L.F.C. Conti, M.A.V. Wasserman, I.C.P. Salinas, D.M. Vinhas, M.I.C. Vetere, J.F. Pereira, D.N.G. Silva. "The development of environmental modeling tools in Brazil for emergency preparedness" *IRPA 12 - 12th International Congress of the International Radiation Protection Association*, Buenos Aires (2008).
14. Rochedo, E.R.R.; Rio, M.A.P.; Coutinho, C.M.; Acar, M.E.D.; Romeiro, C.H. "Avaliação a longo prazo das ações de remediação após o acidente radiológico de Goiânia". In: *V Encontro Nacional de Aplicações Nucleares*, Rio de Janeiro. CNEN (2000).
15. IAEA - International Atomic Energy Agency. *The Radiological Accident in the Reprocessing Plant at Tomsk*. IAEA, Vienna (1998).
16. Schenker-Wicki, A. "The Use of Multi-criteria Analysis (MCA) for Evaluating Feasible Countermeasures after an Accidental Release of Radioactivity" *IVth International Symposium of Radioecology, Cadarache*, France, 14th-18th March (1988).
17. Th. Zeevaert, A. Bousher, V. Brendler, P. Hedemann Jensen, S. Nordlinder. "Evaluation and ranking of restoration strategies for radioactively contaminated sites". *Journal of Environmental Radioactivity*, v. 56, Issues 1-2, 2001, Pages 33-50 (2001).
18. K.G. Andersson, J. Roed, K. Eged, Z. Kis, G. Voigt, R. Meckbach, D.H. Oughton, J. Hunt, R. Lee, N.A. Beresford, F.J. Sandalls. *Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas*. Riso National Laboratory, Roskilde (2003).
19. BMU – Bundesministerium Für Umwelt, Naturschutz Und Reaktorsicherheit: *Compendium of measures to reduce radiation exposure following events with not insignificant radiological consequences (catalogue of countermeasures)*, v.1 & 2 (2000).
20. IAEA - International Atomic Energy Agency. *Guidelines for agricultural countermeasures following an accidental release of radionuclides*. Technical Reports Series n° 363, IAEA, Vienna, (1994).
21. IAEA - International Atomic Energy Agency. *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience*. Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. Radiological assessment reports series,



- IAEA, Vienna. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239_web.pdf) (2006).
22. A. Nisbet, A. Jones, J. Brown, K. Mortimer, G. Roberts, S. Mobbs. *Recovery Handbook for Radiation Incidents 2008*. Report HPA-RDP-042, Chilton, UK (2008).
  23. Rochedo E.R.R., D.N.G. Silva, M.A.V. Wasserman, L.F.C. Conti. “Remediation Strategies after Nuclear or Radiological Accidents: Part 2 – Accident Scenarios for Assessing Effectiveness of Cleanup Procedures” *IX Encontro Nacional de Aplicações Nucleares, Rio de Janeiro* (2009).

## REMEDIATION STRATEGIES AFTER NUCLEAR OR RADIOLOGICAL ACCIDENTS: PART 2 - ACCIDENT SCENARIOS FOR ASSESSING EFFECTIVENESS OF CLEANUP PROCEDURES

Elaine R. R. Rochedo<sup>1\*</sup>, Diogo N. G. Silva<sup>2</sup>, Maria A. V. Wasserman<sup>2\*</sup>, Luiz F. C. Conti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Rua da Passagem 123 9º andar  
22290-030 Rio de Janeiro, RJ  
erochedo@cnen.gov.br

<sup>2</sup> Instituto de Radioproteção e Dosimetria  
Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Av. Salvador Allende, s/n  
22780-160 Rio de Janeiro, RJ  
dneves@ird.gov.br  
angelica@ird.gov.br  
lfconti@ird.gov.br

\*CNPq researchers

### ABSTRACT

The selection of protective measures and remediation strategies after an accident needs to be based on previously established criteria, to minimize unnecessary stress and the exposures involved in cleanup operations that are not effective in reducing doses to the public. In a first stage, a database describing the countermeasures has been developed including their efficiency on removing contamination from surfaces. However, to assess the effectiveness of cleanup procedures in reducing doses to members of the public, it was necessary to derive specific scenarios in order to simulate the long term behavior of the material in the environment, since the contribution of different surfaces to doses changes with time after contamination. A basic release and exposure scenario was developed to assess the dose reduction due to the mostly used procedures. Exposure scenarios were selected to fit the surroundings of the Brazilian nuclear power plants in Angra dos Reis. Simulations were performed using SIEM, the integrated system for dose assessment after contamination events, developed at IRD. The contamination of urban environments was assessed for Cs-137, as this was found to be the most relevant long term radionuclide to contribute to doses to member of the public. The effects on reducing external exposures were assessed for periods up to 50 years after the contamination. For agricultural areas, the focus was on ingestion doses from contamination with I-131 for periods up to 1 year after contamination. Results will be complemented on the database in order to support multi-criteria decision making processes after accidents.

### 1. INTRODUCTION

One of the main concerns on emergency preparedness worldwide is the assessment of possible consequences of events that may lead to environmental contamination and hence to public exposure. Since the Goiânia accident [1], IRD-Institute of radiological Protection and Dosimetry, from CNEN – National Nuclear Energy Commission has been developing supporting tools to the decision making process after nuclear or radiological accidents, aiming the protection of the public if such events occur [2,3]. The environmental modeling project has developed the SIEM code - Integrated system for emergency assessment of doses

to the public [4]. Several activities have been developed aiming to improve the output of these models by incorporation of data adequate to Brazil, considering aspects linked to climate, soil type, building material and agricultural practices [5, 6, 7, 8, 9, 10].

The most recent activity under the environmental modeling project was the development of a database of protective and remediation measures to be applied for the radiological protection of the public [11]. The database includes now 78 measures that may be applied to urban, agricultural or aquatic environments and measures are described according to their efficiency on removing the contamination or on the reduction of dose rate from the surfaces. In order to address a multi-criteria decision making process, the following aspects are covered in the database:

- (a) generic aspects, describing the target surface, target nuclides and overall procedures;
- (b) technical aspects: exposure pathways, timing for application, technical restrictions, effectiveness in removing contamination or reducing dose rates, factors affecting averted dose and dose to workers involved in the application of the measure;
- (c) infrastructure: required equipments and materials, required skills, safety requirements;
- (d) waste: type and amount of wastes generated by the application of the procedures;
- (e) other aspects, such as non-radiological impacts, practical experience worldwide and references

The effectiveness of each countermeasure, according to literature data, is mostly provided under qualitative aspects or they are related specifically to the surface or environmental media to which it is applied [12, 13, 14].

However, to assess the effectiveness of cleanup procedures in reducing doses to members of the public, it was necessary to derive specific scenarios in order to simulate the long term behavior of the material in the environment, since the contribution of different surfaces to doses changes with time after contamination [15, 16].

The objective of this work was then to define some basic release and exposure scenarios to assess the effect of mostly used measures in reducing the doses to the public in the short, medium and long-term after the contamination event, as a function of the moment when the measure is applied to a specific surface or environment.

## 2. METHODOLOGY

All simulations were performed with SIEM code [4] that includes two main environmental models: CORAL, that is used to assess the consequences of the contamination of rural environments and that was developed based on the German model ECOSYS, widely used

through out the European community countries [15,16]; and, PARATI, developed at IRD to assess the consequences of a contamination of urban environments [3].

The contamination of urban environments were assessed for Cs-137, as this was found to be the most relevant long term radionuclide to contribute to doses to member of the public. A basic release leading to a deposition in an open horizontal lawn surface of  $1 \text{ MBq m}^{-2}$  was considered and exposure scenarios were developed to assess the dose reduction due to the mostly used cleanup procedures.

Exposure scenarios were selected to fit the surroundings of the Brazilian nuclear power plants in Angra dos Reis [6, 17]. The effects on reducing external exposures were assessed for periods up to 50 years after the contamination.

For each procedure, the simulation output was the indoors dose rates and integrated doses since the moment of the contamination event. The population group selected is composed by adults and occupancy rates indoors were considered as 24 hours a day.

Six scenarios have been considered as follows: House 1 simulates a low shielding wood house typical from European environments, following the characteristics described by Meckbach et al. [18]; House 2, 3, and 4 were used to simulate typical Brazilian residences with shielding following the results provided by Salinas et al. [7] for brick houses such as House 2 has no plaster on the walls, House 3 has one side covered by plaster, and House 4 simulates a house with bricks covered with plaster inside and outside. House 5 simulates a typical German masonry house also with double plaster finishing on walls, with the characteristics described by Meckbach et al [18]. At this first approach, all houses were considered as composed by a single floor with roof slab built on the same material as the house, without roof tiles, located in the center of a grassed area.

One outdoor park environment has also been included in the simulation and comprises a large open grassed area with trees.

Cleanup measures were simulated to be applied at different times after the contamination event. The periods for applying the measures were one week, 15 days, one month and 6 months after contamination and the simulated measures were cutting grass surrounding each house and at the park area, the cutting of grass, including mat, with the 1 cm associated top soil layer and the removal of the 5 cm top soil layer.

For agricultural areas, the focus was on ingestion doses from contamination with I-131 for periods up to 1 year after contamination. Ingestion doses were assessed for the first year after the contamination and the group exposure was composed by children. Pathway considered was the ingestion of milk from cows grazing in permanent open pasture environment.

I-131 has been considered to be responsible by the thyroid cancer observed on children that where infants at the time of the Chernobyl accident, living in contaminated areas of Belarus, Ukraine and Russia [19, 20].

A basic release scenario leading to a contamination of  $1 \text{ MBq m}^{-2}$  of I-131 in an open grassed surface was considered. Protective measures simulated were the dilution and the removal of contaminated milk from the children diet, at varying rates and/or time after the contamination event.

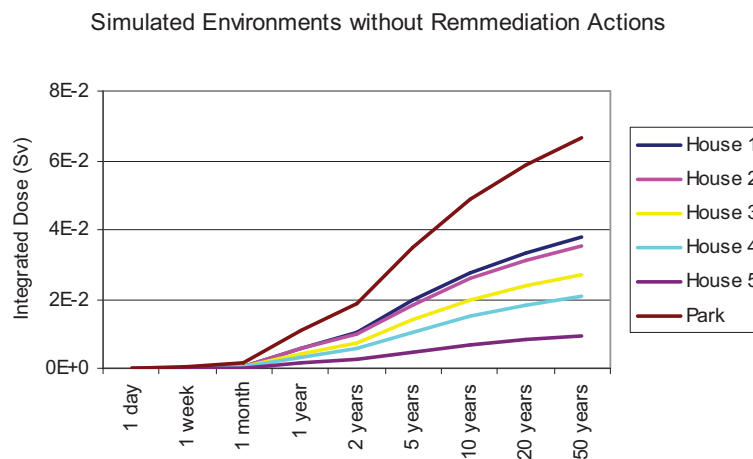
### 3. RESULTS

The results presented here are just examples of the work being developed to derive quantitative dose related effectiveness information on protective and remediation measures, in order to be used on multi-criteria decision making processes after environmental contamination events, for the protection of the public.

#### 3.1. Comparative Assessment for Urban Scenarios

Figure 1 presents the results of integrated doses for the six urban scenarios, without the use of cleanup procedures. It can be observed that all houses provide significant shielding as compared to outdoors park areas. However, the shielding effect varies among the houses, according to the type of building material. Houses build on low density brick without plaster, typical from Brazilian favelas offer a shielding protection similar to European wood houses, while our masonry houses with double plaster on walls offer a shielding significantly lower than that provided by European masonry houses, due to the differences in brick composition and density, as observed by Salinas et al. [7].

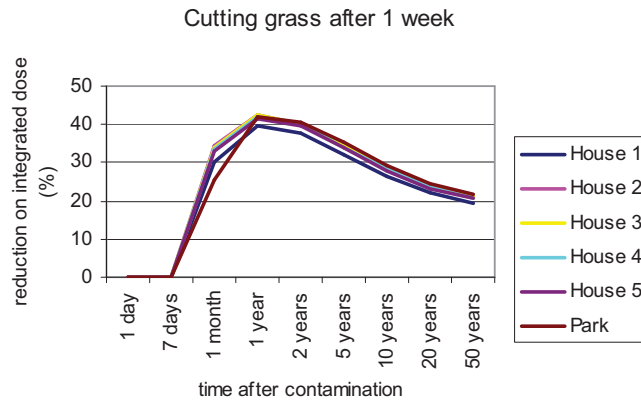
These differences confirms the need for assessing the effects of cleanup procedures based on local/regional parameter data as the use of the a percent reduction on the activity of a surface will have different dose reduction actually received by people residing in different types of houses.



**Figure 1. Integrated dose due to 1 MBq m<sup>-2</sup> Cs-137 deposition over a horizontal lawn surface without considering cleanup procedures.**

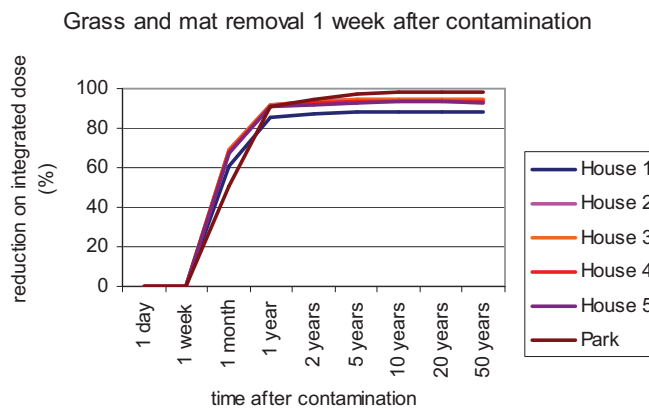
Figure 2 presents the percent reduction on integrated doses due to cutting lawn one week after the contamination event. It can be observed that there is only a slight difference among the curves in the short term due to difference on the contribution of the lawn surface to

indoors doses for the different types of simulated environments, while at the longer term the percent reduction is very similar considering all environments.

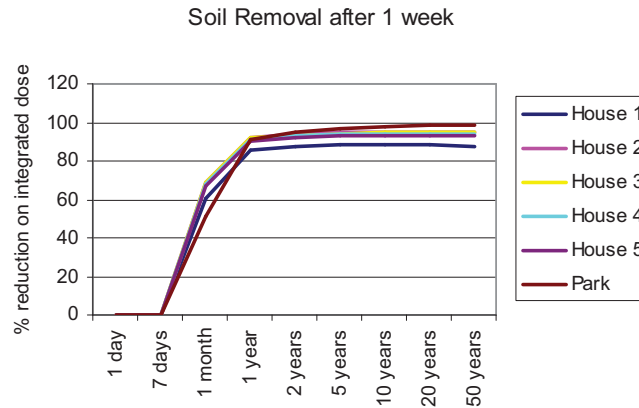


**Figure 2 – Percent reduction on integrated doses due to cutting lawn seven days after the contamination event.**

The same type of behavior can be observed for the grass removal with mat and associated 1 cm top soil layer (Figure 3) and for the removal of the 5 cm top soil layer (Figure 4). Results are very similar for countermeasures including the top soil layer removal despite the depth as after one week all deposited material is still in the upper 1 cm top soil layer.



**Figure 3 - Percent reduction on integrated doses due to cutting lawn removal mat and associated 1 cm top soil layer seven days after the contamination event.**



**Figure 4 – percent decrease on integrated dose for the 5 cm top soil layer removal seven days after the contamination event.**

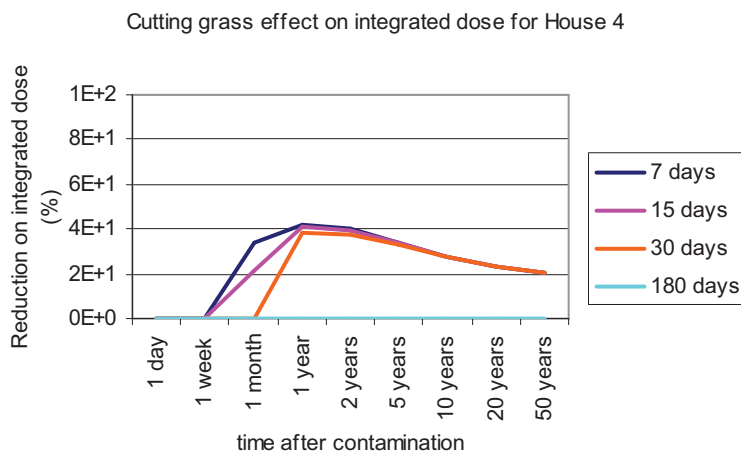
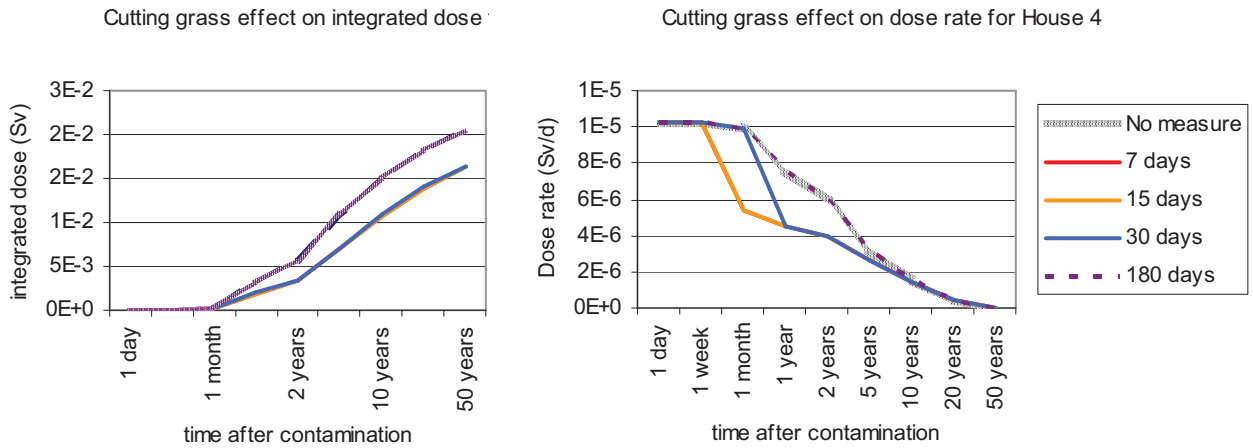
### 3.2. Assessing the effect of the time after the accident when the measure is applied

Figure 5 presents the results on integrated doses for House 4 without countermeasure and the effect of lawn removal after 7, 15, 30 and 180 days. It can be observed that cutting lawn has a higher efficiency for reducing indoor dose rate if applied within 1 month after contamination. After 6 months, the measure has no effect on dose reduction and can then only be seen as a short term measure.

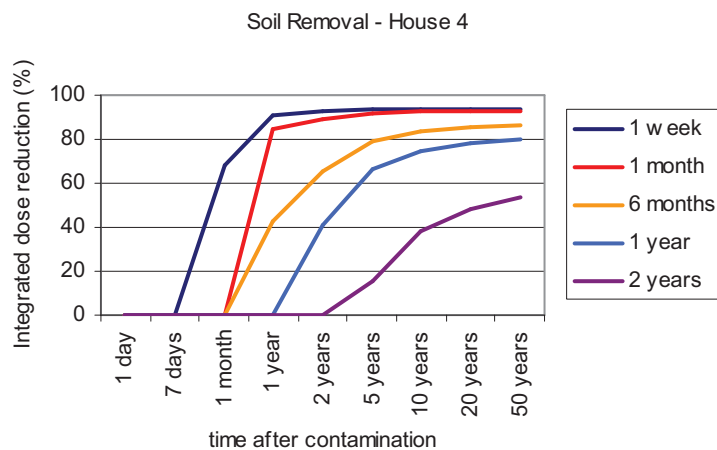
Figure 6 shows the results for the percent dose reduction, also for House 4, for the top soil layer removal, also after 7, 30, 180, 365 and 730 days. It can be seen that the effectiveness of this measure is high, even if applied 2 years after the contamination, with effects varying from 50 to 95 % reduction on lifetime integrated dose.

Although effective, soil removal has drawbacks, such as the large amount of wastes generated and the exposure of large number of persons in waste management procedures. The previous removal of the grass in the short term can be performed in short time and the collection of waste can be done automatically, if such equipments are readily available at the site. About up to 20 % of lifetime dose for inhabitants of the area can be avoided by this procedure, while soil removal need more planning due to the large amount of wastes and shall reduce up to 80 % of the lifetime dose to inhabitants, even if applied 1 year after the contamination event.

Combining the two measures could be achieved at an optimized procedure taking into account other aspects such as doses to workers, acceptability by the local population, and costs associated to waste management options.



**Figure 5. Integrated dose, dose rate and percent reduction on integrated dose due to cutting lawn on the surroundings of House 4 at different moments after the contamination event.**



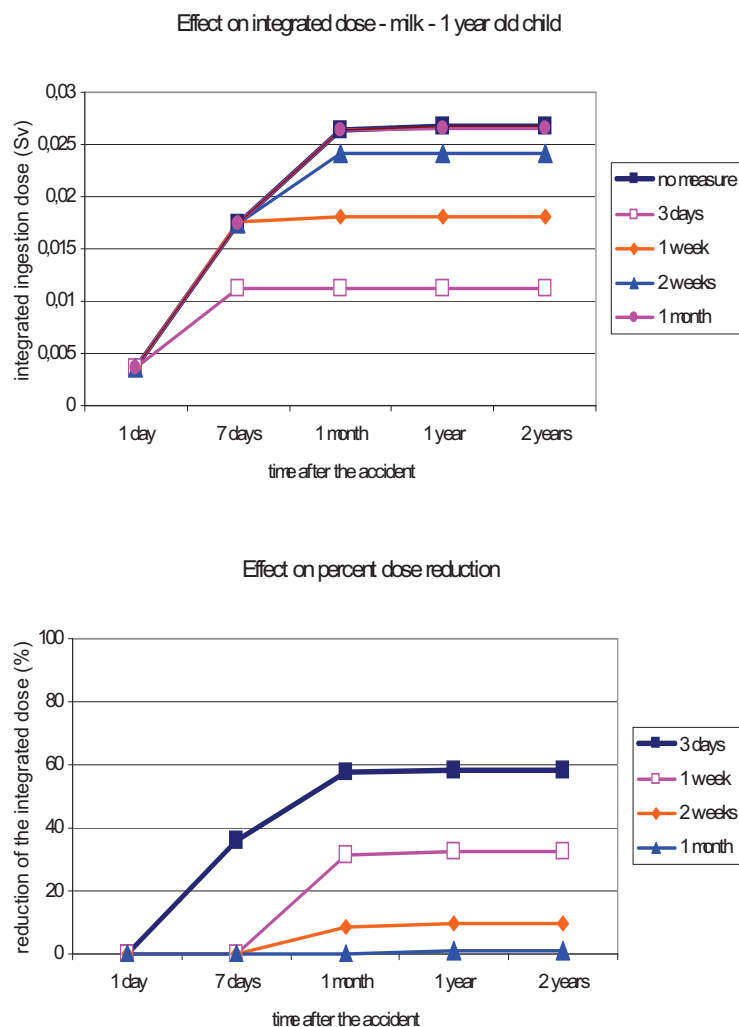
**Figure 6. Reduction on integrated dose due the removal of the 5 cm top soil layer on the surroundings of House 4 at different moments after the contamination.**



### 3.2. Results for the Rural Area Scenario

For the rural scenario, the example presented here refers to the ingestion of milk by an infant (less than 1 year old child at the moment of the contamination). Ingestion rate is considered to be 200 g per day. Countermeasure simulated is the suspension on the milk distribution (while providing alternative clean milk). The radionuclide here considered is I-131. Due to the short half-life of this nuclide, protective measures are simulated to be used up to 1 month after the contamination event and effects are considered related to the first year committed effective integrated ingestion dose.

Results for the removal of contaminated milk from infants' diet are shown in figure 7. It is quite clear that measures to protect from I-131 are to be implemented at very short term after the contamination, as soon as possible. The removal from diet after one month has no more effect on reducing doses.



**Figure 7. Effect of removal of contaminated milk from infants' diet at different moments after the contamination event**

### 3. CONCLUSIONS

This work is part of the emergency preparedness program being developed by IRD since the Goiânia accident. The examples shown will be used to establish criteria for simulating other countermeasures. The information gathered on the effect of time on dose reduction for different standard scenarios will be organized and incorporated to the database on protective and remediation measures. Next step will include the building of a multi-criteria decision tool to support a decision making process after an event leading to environmental contamination, under the point of view of radiological protection.

### ACKNOWLEDGMENTS

The authors acknowledge the Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico – CNPq for scholarship support that allowed the development of this work and to Centro de Informações Nucleares – CIN/CNEN for the support on timely providing literature references.

### REFERENCES

1. IAEA - International Atomic Energy Agency. *The radiological accident in Goiânia*. IAEA, Vienna (1988).
2. E.R.R. Rochedo, E.C.S. Amaral, S.M. Bartell. “The relative significance of pathways and parameters for the cs-137 soil decontamination scenario at Goiânia”. *Journal of Environmental Radioactivity*, **V. 15**, p. 171-183 (1992).
3. E.R.R. Rochedo, L.F.C. Conti, H.G. Paretzke, “PARATI- a dynamic model for radiological assessments in urban areas. Part I. modelling of urban areas, their contamination and radiation fields” *Radiation and Environmental Biophysics*, Germany, **V. 35**, p. 243-261, 1996.
4. L.F.C. Conti, E.R.R. Rochedo, E.C.S. Amaral. “Desenvolvimento de um sistema integrado para avaliação de impacto radiológico ambiental em situações de emergência”. *Revista Brasileira de P&D*, São Paulo, **v. 4**, n. 3, p. 872-879 (2002).
5. D.M. Vinhas, E.R.R. Rochedo, M.A.V. Wasserman, L.F.C. Conti. “Modeling the dynamics of radionuclide concentration in food after an accident in tropical areas” *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, **V. 7**, p. 139-144 (2005).
6. M.A.V. Wasserman, A.C. Ferreira, E.R.R. Rochedo, C.C. Conti, A.G. Viana, F. Bartoly, M.M. Silva, D.V. Perez, T.R. Pereira. “Avaliação da Vulnerabilidade de Solos Brasileiros à Contaminação por Cs-137”. *2o. Congresso Acadêmico sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - CADMA*, Niteroi (2006).
7. I.C.P. Salinas, C.C. Conti, E.R.R. Rochedo, R.T. Lopes. “Gamma Shielding Factor for Typical Houses in Brazil” *Radiation Protection Dosimetry*, **v. 121**, p. 420-424 (2006).
8. M.A.V. Wasserman, F. Bartoly, A.P. Portilho, E.R.R. Rochedo, A.G. Viana, D.V. Perez, C.C. Conti. “The effect of organic amendment on potential mobility and bioavailability of Cs-137 and Co-60 in tropical soils” *Journal of Environmental Radioactivity*, **V. 99**, p. 554-562 (2008).
9. E.R.R. Rochedo, L.F.C. Conti, M.A.V. Wasserman, I.C.P. Salinas, D.M. Vinhas, M.I.C. Vetere, J.F. Pereira, D.N.G. Silva. “The development of environmental modeling tools in

- Brazil for emergency preparedness” *IRPA 12 - 12th International Congress of the International Radiation Protection Association*, Buenos Aires (2008).
10. D.N.G. Silva, Rochedo E.R.R., M.A.V. Wasserman, L.F.C. Conti. “Remediation Strategies after Nuclear or Radiological Accidents: Part 1 – Database Development” *IX Encontro Nacional de Aplicações Nucleares*, Rio de Janeiro (2009).
  11. K.G. Andersson, J. Roed, K. Eged, Z. Kis, G. Voigt, R. Meckbach, D.H. Oughton, J. Hunt, R. Lee, N.A. Beresford, F.J. Sandalls. *Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas*. Riso National Laboratory, Roskilde (2003).
  12. IAEA - International Atomic Energy Agency. *Guidelines for agricultural countermeasures following an accidental release of radionuclides*. Technical Reports Series n° 363, IAEA, Vienna, (1994).
  13. A. Nisbet, A. Jones, J. Brown, K. Mortimer, G. Roberts, S. Mobbs. *Recovery Handbook for Radiation Incidents 2008*. Report HPA-RDP-042, Chilton, UK (2008).
  14. Th. Zeevaert, A. Bousher, V. Brendler, P. Hedemann Jensen, S. Nordlinder. “Evaluation and ranking of restoration strategies for radioactively contaminated sites”. *Journal of Environmental Radioactivity*, **V.56**, Issues 1-2, 2001, Pages 33-50 (2001).
  15. BMU - Bundesministerium Für Umwelt, Naturschutz Und Reaktorsicherheit: *Compendium of measures to reduce radiation exposure following events with not insignificant radiological consequences* (catalogue of countermeasures), **V.1 & 2** (2000).
  16. H. Müller, G. Pröhl. “ECOSYS-87: A Dynamic Model for Assessing Radioecological Consequences of Nuclear Accidents”. *Health Physics*, **Vol.64**, N.3: 232-252 (1993)
  17. M.I.C. Vetere; E.R.R. Rochedo, L.F.C. Conti. “Aplicação do Sistema Integrado de Avaliação de Impacto radiológico Ambiental em situações de Emergência para a Avaliação da Exposição Radiológica de Populações de Áreas Urbanas”. *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, São Paulo, Brazil, v. 4 n.3pt1, 729-736 (2002).
  18. R. Meckbach, P. Jacob, H.G. Paretzke, “Gamma Exposures Due to Radionuclides Deposited in Urban Environments. Part I: Kerma Rates from Contaminated Urban Surfaces”, *Radiation Protection Dosimetry* Vol.25 N.3, pp. 167-180, 1988.
  19. IAEA - International Atomic Energy Agency. *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience*. Report of the Chernobyl Forum Expert Group ‘Environment’. Radiological assessment reports series, IAEA, Vienna. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239_web.pdf) (2006)
  20. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee for the Effects of Atomic Radiation. *Report to the General Assembly*. UNSCEAR, Vienna – To be published (2010)

# BASE TÉCNICA PARA ELABORAÇÃO DE MODELO MULTI-CRITÉRIO DE APOIO AO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO PARA A REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS DECORRENTES DE ACIDENTES NUCLEARES E/OU RADIOLÓGICOS

Pedro R. R. Rochedo<sup>1</sup>; Maria Angelica V. Wasserman<sup>2</sup>; Elaine R. R. Rochedo<sup>3</sup>; Diogo N. G. da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 21941-909

<sup>2</sup> Instituto de Radioproteção e Dosimetria, CNEN, Rio de Janeiro, RJ, 22780-160

<sup>3</sup> Dep. Instalações Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, RJ, 22290-030

## RESUMO

A seleção de medidas de proteção e estratégias de remediação de áreas contaminadas após um acidente nuclear e/ou radioativo deve estar baseada em critérios previamente estabelecidos de forma a evitar o desgaste da população e a exposição de trabalhadores decorrentes da aplicação de medidas que não sejam efetivas na redução de doses para cada situação específica. Após o desenvolvimento do código SIEM, foi desenvolvido um banco de dados de estratégias de remediação de áreas contaminadas. Neste desenvolvimento, foram considerados os aspectos mais relevantes para auxiliar um processo de tomada de decisão. Paralelamente, vem sendo desenvolvido um modelo matemático para efetuar uma análise multi-critério, com a finalidade de dar suporte ao processo de tomada de decisão. Este trabalho descreve a metodologia básica para o desenvolvimento do modelo e avalia as possibilidades de desenvolvimentos futuros de forma a aprimorar as previsões e dar suporte às decisões a serem tomadas.

**Palavras-chave:** áreas contaminadas, descontaminação, proteção radiológica

## INTRODUÇÃO

Desde o acidente de Goiânia, em 1987 [IAEA, 1988], o IRD (Instituto de Radioproteção e Dosimetria, da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) vem desenvolvendo ferramentas de apoio a processos de tomada de decisão após um acidente nuclear ou radiológico, que leve a uma contaminação ambiental e a conseqüente exposição do público [Rochedo *et al.*, 2008].

A seleção de medidas de proteção e estratégias de remediação de áreas contaminadas após um acidente nuclear e/ou radioativo deve estar baseada em critérios previamente estabelecidos de forma a evitar o desgaste da população e a exposição de trabalhadores decorrentes da aplicação de medidas que não sejam efetivas na redução de doses para cada situação específica. Como exemplo desta necessidade, podemos citar o acidente de Toms, em 1987, onde uma avaliação das medidas de proteção/remediação, aplicadas em um momento de grande pressão popular, demonstrou que a maior parte das medidas foi ineficiente na redução de doses no público e ainda levaram a exposições desnecessárias à força de trabalho envolvida nos processos de descontaminação [IAEA, 1998].

De forma a evitar que esta experiência se repita, diversos países vêm trabalhando na construção de bases de dados sobre medidas de proteção de forma a dar apoio aos processos de decisão, baseadas em critérios pré-estabelecidos [Schenker-Wicki, 2002; Zeevaert *et al.*, 2001]. Este trabalho é parte de um projeto que incluiu o desenvolvimento de um banco de dados sobre medidas de proteção [Silva *et al.*, 2009], seguido de simulações utilizando o SIEM que permitissem avaliar o efeito de cada uma das medidas de proteção listadas na redução de doses em cenários padronizados pré-estabelecidos [Rochedo *et al.*, 2009].

O processo atualmente em desenvolvimento se aplica a processos de remediação de áreas contaminadas, após o período inicial em que medidas de proteção da população são prioritárias e decisões relacionadas aos efeitos imediatos à saúde já tenham sido implementadas. O objetivo deste trabalho é descrever as etapas iniciais de desenvolvimento do modelo matemático para efetuar a análise multi-critério.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Procedimentos de análise multi-critério vêm sendo utilizados para apoio a processos de decisão em diversas áreas [Martins, 2009; Menezes, 2009, Schenker-Wicki, 2002], onde o sistema de decisão é complexo, envolve alternativas conflitantes e incomensuráveis. Os seguintes aspectos devem ser considerados com a finalidade de definir os critérios a serem incluídos em uma matriz de avaliação dos processos de remediação de área acidentalmente contaminada [Silva ET AL., 2009]:

1. Aspectos técnicos: viabilidade de aplicação devido a: disponibilidade de equipamentos, utilidades, mão de obra qualificada
2. Aspectos radiológicos: redução de dose nas pessoas do público expostas, doses ocupacionais, geração de rejeitos
3. Aspectos político-sociais: impacto na população: emocional, economias individuais, perda de propriedades (móveis e imóveis), reação pública a pessoa/produtos provenientes das áreas afetadas
4. Aspectos econômicos: custo de implementação, custo do gerenciamento de rejeitos, custos de reconstrução, custos relacionados à quebra de rotinas estabelecidas, perdas de processos produtivos, inclusive produções agrícolas.

A análise multi-critério completa deve ser efetuada por diversos órgãos e tem que levar em conta a situação real no momento da decisão. Desta forma, neste estágio, apenas os aspectos técnicos e radiológicos estarão sendo considerados. A abordagem de critérios econômicos é efetuada apenas de uma maneira preliminar, pela indicação qualitativa de situações de custo diretamente associadas à aplicação das medidas de remediação. Em relação a aspectos político-sociais, apenas um parâmetro, diretamente relacionado ao tipo de medida, é considerado, de forma a incluir apenas o impacto primário da aplicação direta da medida em relação ao grupo exposto, a necessidade de interrupção de processos produtivos e necessidade de gerenciamento de rejeitos. Desta forma, a matriz desenvolvida é apresentada na Figura 1.

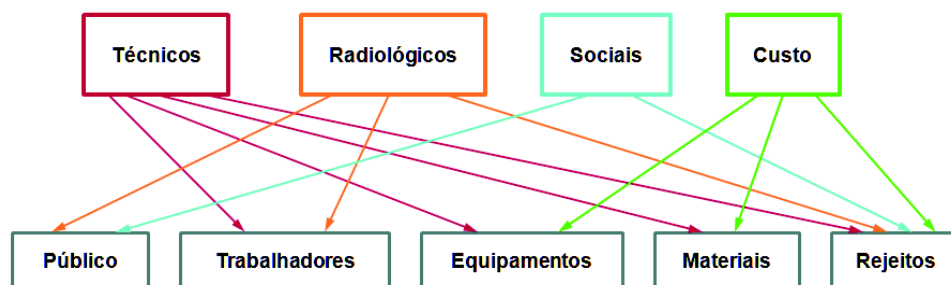


Figura 1. Matriz de avaliação estabelecida para o modelo

A atribuição de pesos dentro de cada critérios será definida em função do tipo de área e do momento de aplicação da medida. Os tipos de áreas para as quais foram efetuadas as descrições das medidas de proteção [Silva *et al.*, 2009] são: Area tipo 1 – urbana; Area tipo 2 – rural; e, Area tipo 3 – ambientes aquáticos. As medidas são também classificadas em função do momento de aplicação de acordo com sua eficiência em reduzir a contaminação, em função do momento de sua implementação após o evento de contaminação:

Medida tipo 1 – a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 1 semana

Medida tipo 2 - a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 1 mês

Medida tipo 3 - a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 1 ano

Medida tipo 4 – a aplicação não perde mais de 50% de sua eficiência mesmo se aplicada após 1 ano

A eficiência das medidas na redução de doses depende de características do tipo de ambiente e de hábitos da população e estão sendo levantadas em trabalho específico, utilizando o código SIEM [Silva *et al.*, 2009; Rochedo *et al.*, 2009].

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados são ainda preliminares, definidos de forma a ser possível elaborar o modelo para efetuar a análise multicritério. Na primeira etapa, foram selecionados os pesos de classificação a serem atribuídos a cada um dos critérios definidos para o modelo. Como exemplo, apresentamos a tabela desenvolvida para os critérios técnicos, que dependem basicamente da disponibilidade de equipamentos materiais e serviços na área afetada (Tabela 1). Os critérios radiológicos dependem basicamente da situação de contaminação e das medidas de remediação previstas. A priorização dos critérios deverá ser elaborada através de consulta a um painel de especialistas que basicamente, deverá expressar a relevância relativa entre os critérios selecionados. A resposta do modelo inclui o resultado da análise, sob forma de tabela, com a ordenação de prioridade das medidas previstas, e fornece o gráfico em radar, de forma a também permitir uma visualização da relevância relativa entre as diferentes opções avaliadas.

Tabela 1: Atributos relacionados aos critérios técnicos e descrição de pesos de classificação

Medida	Peso = 5	Peso = 4	Peso = 3	Peso = 2	Peso = 1
Equipamento	disponível	Não disponível mas fácil de ser conseguido	Não disponível, mas possível de ser conseguido a baixo custo	Não disponível, mas possível de ser conseguido a alto custo	Não disponível
Materiais	disponível	Não disponível mas fácil de ser conseguido	Não disponível mas possível de ser conseguido a baixo custo	Não disponível mas possível de ser conseguido a alto custo	Não disponível
Mão de obra - treinamento	Não necessita treinamento ou existe pessoal treinado disponível	treinamento fácil, e pessoal disponível	Necessidade de treinamento para categorias profissionais específicas	Necessidade de treinamento especializado	Necessidade de treinamento especializado e cuidados de radioproteção

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- International Atomic Energy Agency. *The radiological accident in Goiânia*. IAEA, Vienna (1988).
- International Atomic Energy Agency. *The Radiological Accident in the Reprocessing Plant at Tomsk*. IAEA, Vienna (1998).
- Martins, V.B. *Metodologia baseada em SIG e análise multicritério para a seleção de áreas para a construção de um repositório para combustível nuclear usado*. COPPE-UFRJ (2009).
- Menezes, J.O.R. *Produção Regional de Açúcar: Responsabilidade corporativa e contribuições do capital social para o desenvolvimento regional*. Tese DSc., Escola de Química, UFRJ (2008)
- Rochedo E.R.R. *et al. The development of environmental modeling tools in Brazil for emergency preparedness*. 12<sup>th</sup> International Congress of the IRPA, Buenos Aires (2008).
- Rochedo, E.R.R. *et al. Remediation strategies after nuclear or radiological accidents: Part 2 - accident scenarios for assessing effectiveness of cleanup procedures*. International Nuclear Atlantic Conference, Rio de Janeiro (2009).
- Schenker-Wicki, A. *The Use of Multi-criteria Analysis (MCA) for Evaluating Feasible Countermeasures after an Accidental Release of Radioactivity* IVth International Symposium of Radioecology, Cadarache, (1988).
- Silva, D.N.G. *et al. Remediation Strategies after Nuclear or Radiological Accidents: Part 1 – Database Development*. International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009 Rio de Janeiro, RJ (2009).
- Silva, D.N., Rochedo, E.R.R., Wasserman, M.A.V. *Remediation strategies after nuclear or radiological accidents: part 1 – database development*. International Nuclear Atlantic Conference, Rio de Janeiro (2009).
- Zeevaert, T. *et al. Evaluation and ranking of restoration strategies for radioactively contaminated sites*. Journal of Environmental Radioactivity, V.56, Issues 1-2, 2001, Pages 33-50 (2001).

## CLASSIFICAÇÃO DAS MEDIDAS DE REMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS DECORRENTES DE ACIDENTES NUCLEARES E/OU RADIOLÓGICOS.

Diogo N. G. da Silva<sup>1</sup> ; Maria Angélica V. Wasserman<sup>1</sup>; Elaine R. R. Rochedo<sup>2</sup>;  
Luiz Fernando C. Conti<sup>1</sup>; Pedro R. R. Rochedo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Radioproteção e Dosimetria, CNEN, Rio de Janeiro, RJ, 22780-160

<sup>2</sup> Dep. Instalações Nucleares, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, RJ, 22290-030

<sup>3</sup> Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 21941-909

### RESUMO

A seleção de estratégias de remediação de áreas contaminadas após um acidente radiológico deve estar baseada em critérios previamente estabelecidos, de forma a evitar o desgaste da população e a exposição de trabalhadores decorrentes da aplicação de medidas que não sejam efetivas na redução de doses para cada situação específica. O IRD vem desenvolvendo ferramentas de apoio a processos de tomada de decisão para a proteção do público, o que incluiu o desenvolvimento do código SIEM e de um banco de dados de estratégias de remediação, considerando os aspectos mais relevantes de radioproteção. O principal critério radiológico neste processo é a redução da dose no público pela aplicação de um determinado procedimento de remediação. No entanto, as medidas de remediação normalmente são relatadas apenas em sua eficiência na redução de contaminação de superfícies. Além disso, a eficiência em relação à redução de dose pode variar com o tempo após a contaminação. Assim, para viabilizar uma análise multicritério, foi necessário desenvolver sistemas de classificação das medidas, baseado no seu efeito nas doses, estimadas através de simulações de cenários, em função do momento de aplicação e do radionuclídeo. Neste trabalho, são apresentados resultados para as medidas aplicáveis a áreas urbanas.

**Palavras-chave:** descontaminação; exposição ao público; proteção radiológica.

### INTRODUÇÃO

Desde o acidente de Goiânia, em 1987 [IAEA, 1988], o IRD (Instituto de Radioproteção e Dosimetria), pertencente à CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) vem desenvolvendo ferramentas de apoio a processos de tomada de decisão após um acidente nuclear ou radiológico que cause uma contaminação ambiental e a conseqüente exposição do público [Rochedo *et al.*, 2008].

Em uma primeira etapa, foi desenvolvido o código SIEM, de previsão de doses em grupos de pessoas do público, decorrente desse tipo de acidente [Conti, 2002]. Este programa permite a simulação do comportamento da contaminação das diversas superfícies e a correspondente dose em membros do público devido à permanência em ambientes acidentalmente contaminados. Assim sendo, o SIEM compreende dois módulos, sendo o primeiro para a simulação de áreas urbanas e o segundo para a simulação de áreas rurais. Atualmente em desenvolvimento, o trabalho tem como objetivo dar suporte a um processo de seleção de medidas de proteção e de estratégias de remediação de áreas contaminadas. Porém, é preciso que as bases técnico-científicas para efetuar esta seleção, dentro de um procedimento multicritério, sejam estabelecidas previamente, de forma a minimizar tanto o desgaste da população como a exposição de trabalhadores, em virtude da aplicação de medidas que não sejam efetivas na redução de doses para cada situação específica.

A descrição das medidas de proteção visando sua utilização dentro de um processo multicritério de tomada de decisão deve envolver aspectos técnicos, radiológicos, político-sociais e econômicos. Cabe ao IRD e à CNEN definir os critérios radiológicos a serem considerados nesta análise.

Nesta etapa do trabalho, foi desenvolvido um banco de dados sobre medidas de proteção [Silva *et al.*, 2009], onde foi verificada a necessidade de efetuar simulações utilizando o SIEM as quais permitissem avaliar o efeito de cada uma das medidas de proteção listadas na redução de doses em cenários padronizados pré-estabelecidos [Rochedo *et al.*, 2009].

O processo atualmente em desenvolvimento se aplica a processos de remediação de áreas contaminadas, após o período inicial em que medidas de proteção da população são prioritárias e decisões relacionadas aos efeitos imediatos à saúde já tenham sido implementadas. O objetivo deste trabalho é, portanto, descrever a etapa de levantamento das informações relacionadas à eficiência das medidas de remediação para áreas urbanas e sua classificação, em função do momento de sua aplicação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A partir dos cenários básicos estabelecidos para a análise, apresentados no Quadro 1, foram efetuadas simulações do comportamento da contaminação nas diferentes superfícies que constituem uma área urbana, primeiro sem aplicação de medidas de remediação e depois com a aplicação de medidas, de forma a avaliar a redução na taxa de dose, a curto, médio e longo prazos, para cada um dos cenários. Cabe ressaltar que estes cenários são descritos no modelo com valores de parâmetros de blindagem levantados no Brasil [Salinas *et al.*, 2007].

Casa 1	casa de alvenaria simples sem acabamento
Casa 2	casa de alvenaria simples com acabamento interno
Casa 3	casa de alvenaria com acabamento (emboço e reboco) interno e externo
Parque	área aberta gramada, com árvores
Rua	rua pavimentada, com algumas árvores e prédios próximos

Quadro 1. Cenários básicos estudados.

A partir dos resultados obtidos nas simulações, as medidas de proteção foram classificadas de acordo com os critérios estabelecidos no Quadro 2, em relação à eficiência da medida em reduzir a dose integrada no primeiro ano após a contaminação e na dose integrada após 50 anos, dentro de cada compartimento, e no Quadro 3, em relação à eficiência relativa ao momento de aplicação da medida, em relação ao seu efeito se aplicada de forma imediata, isto é, dentro da primeira semana após a contaminação.

<i>Medida classe 0 - eficiência na redução da dose é &lt; 1%</i>
<i>Medida classe 1 - eficiência na redução da dose é 1 - 2 %</i>
<i>Medida classe 2 - eficiência na redução da dose é 2 - 5 %</i>
<i>Medida classe 3 - eficiência na redução da dose é 5 - 10 %</i>
<i>Medida classe 4 - eficiência na redução da dose é 10 - 20 %</i>
<i>Medida classe 5 - eficiência na redução da dose é &gt; 20 %</i>

Quadro 2. Critério de classificação das medidas de remediação de áreas contaminadas em relação à sua eficiência se a medida for implementada de forma imediata após a contaminação.

<i>Medida tipo 1 - a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 1 semana</i>
<i>Medida tipo 2 - a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 1 mês</i>
<i>Medida tipo 2 - a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 6 meses</i>
<i>Medida tipo 3 - a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 1 ano</i>
<i>Medida tipo 4 - a aplicação não perde mais de 50% de sua eficiência mesmo se aplicada após 1 ano</i>

Quadro 3. Critérios de classificação das medidas de remediação de áreas contaminadas em relação à perda de eficiência.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um exemplo de resultados obtidos para as medidas e compartimentos simulados é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Eficiência das medidas para redução da dose no compartimento para o Cs-137

medida	compartimento	efeito na dose integrada		atraso para reduzir 50% na eficiência		classe		tipo	
		1º. Ano	50 anos	1º. ano	50 anos	1º. Ano	50 anos	1º. Ano	50 anos
lavagem a alta pressão	casas	2	0,8	60	180	1	0	2	3
	ruas	11	20	60	>365	4	4	2	5
corte de grama	casas	40	20	30	30	5	4	1	1
	parque	42	22	30	30	5	5	1	1
remoção de solo e grama	casas	91	94	---	730	5	5	5	5
	parque	91	90	---	730	5	5	5	5

O critério de classificação apresentado no Quadro 2 fornece a indicação da eficiência da medida aplicada a curto prazo (1 semana). Quanto menor a pontuação, mais atenção deve ser dada aos aspectos negativos da medida, tais como as doses ocupacionais, o custo e o impacto decorrentes de sua aplicação, uma vez que o benefício em termos de dose será muito reduzido, podendo apenas ser justificado para situações específicas, em que não seja possível disponibilizar, a curto prazo, medidas de maior eficiência.

O critério de classificação apresentado no Quadro 3 fornece indicação sobre o prazo em que a aplicação da medida mantém a eficiência prevista. Desta forma, uma medida tipo 1 deve ser aplicada em prazo muito curto para ter a classificação definida pelo critério do quadro 3. Esta medida requer então planejamento prévio, na medida do possível, e sua aplicação vai depender da disponibilidade de recursos imediatos. Já uma medida tipo 4 pode ser implementada após um planejamento mais adequado, por exemplo, em relação ao gerenciamento do rejeito gerado ou um treinamento mais elaborado da força de trabalho, permitindo a otimização de vários fatores, como, por exemplo, as doses ocupacionais, a comunicação com o público, a aquisição de materiais e equipamentos, entre outros.

A próxima etapa deverá ter como objetivo a aplicação da metodologia aqui descrita para as medidas aplicáveis a áreas rurais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Conti L.F.C., Rochedo E.R.R., Amaral E.C.S. “Desenvolvimento de um sistema integrado para avaliação de impacto radiológico ambiental em situações de emergência”. *Revista Brasileira de P&D*, São Paulo, v. 4, n. 3, p. 872-879 (2002).

International Atomic Energy Agency. *The radiological accident in Goiânia*. IAEA, Vienna (1988).

Rochedo E.R.R. et al. *The development of environmental modeling tools in Brazil for emergency preparedness*. 12<sup>th</sup> International Congress of the IRPA, Buenos Aires (2008).

Rochedo, E.R.R. et al. *Remediation strategies after nuclear or radiological accidents: Part 2 – accident scenarios for assessing effectiveness of cleanup procedures*. International Nuclear Atlantic Conference, Rio de Janeiro (2009).

Salinas I.C.P., Conti C.C., Rochedo E.R.R., Lopes R.T. “Gamma Shielding Factor for Typical Houses in Brazil” *Radiation Protection Dosimetry*, v. 121, p. 420-424 (2006).

Silva, D.N., Rochedo, E.R.R., Wasserman, M.A.V. *Remediation strategies after nuclear or radiological accidents: Part 1 – database development*. International Nuclear Atlantic Conference, Rio de Janeiro (2009).

# RADIO 2011

## Avaliação de Medidas de Proteção para Ambientes Urbanos

Elaine R. R. Rochedo<sup>1</sup>, Diogo N. G. Silva<sup>2</sup>, Maria Angélica V. Wasserman<sup>3</sup>, Udilma Nascimento<sup>2</sup>, Luiz F. Conti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Coordenação de Instalações Nucleares (CODIN / CNEN). Rua da Passagem 123, 9º andar  
22290-030, Brasil

[erochedo@cnen.gov.br](mailto:erochedo@cnen.gov.br)

<sup>2</sup> Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Av. Salvador Allende s/No.,  
CEP - 22780-160, Brasil

[dneves@ird.gov.br](mailto:dneves@ird.gov.br)

[lfcconti@ird.gov.br](mailto:lfcconti@ird.gov.br)

[udilma@ird.gov.br](mailto:udilma@ird.gov.br)

<sup>3</sup> Instituto de Engenharia Nuclear. Rua Hélio de Almeida, 75 - Cidade Universitária - Ilha do  
Fundão - 21941-972, Brasil

[maria.wasserman@pq.cnpq.br](mailto:maria.wasserman@pq.cnpq.br)

**Abstract.** Acidentes radioativos têm evidenciado a necessidade de um planejamento prévio de avaliação da exposição e de diretrizes para a implementação das medidas de proteção. A descrição das medidas na literatura está normalmente associada à redução nas concentrações dos meios onde elas são aplicadas. Para verificar a eficiência em redução de dose, é preciso efetuar simulações. Através do desenvolvimento do banco de dados sobre medidas de proteção, foram estabelecidos cenários básicos, tipicamente tropicais quanto ao tipo de prédio e ao material de construção. O programa SIEM foi utilizado para simular contaminação com <sup>137</sup>Cs. Os resultados indicam que soluções genéricas são desaconselhadas e que processos de tomada de decisão devem ser efetuados segundo as condições reais de contaminação e o uso da área atingida. Para áreas urbanas, dois critérios de classificação foram definidos: (i) eficiência em reduzir a dose no primeiro ano; e, (ii) eficiência em reduzir a dose de longo prazo.

## 1 Introdução

Uma das preocupações no cenário internacional é o estudo das consequências de acidentes e de outros eventos que levem à contaminação do meio ambiente e à exposição do público. Os diversos acidentes ocorridos e a atuação das equipes encarregadas da proteção radiológica do público evidenciaram a necessidade de um planejamento prévio para a avaliação da exposição do público, além de diretrizes pré-definidas para a implementação das medidas de proteção mais adequadas [1,2].

O uso de modelos computacionais para estimar as concentrações e para simular opções de remediação permite a avaliação das situações ou das estratégias de recuperação alternativas, no contexto de uma preparação para atuação em emergências ou para uma tomada de decisão. O acidente de Tomsck, em 1993, por exemplo, evidenciou que medidas de proteção/remediação, aplicadas em um momento de grande pressão popular, podem ser ineficientes na redução de doses para

o público e ainda levar a exposições desnecessárias aos trabalhadores envolvidos nos processos de descontaminação [3].

Diversos países vêm trabalhando no sentido de definir a eficácia das medidas de proteção em relação à redução de doses no público [4, 5, 6, 7, 8]. No Brasil, o acidente de Goiânia, em 1987 [1] despertou a necessidade de haver um planejamento prévio em relação a medidas de proteção [9]. A experiência de Goiânia mostrou que a introdução de critérios e de metodologias após o acidente foi uma tarefa difícil sob o ponto de vista de aceitação do público e de seus representantes [10].

Desde então, o IRD vem desenvolvendo ferramentas de apoio a processos de tomada de decisão em decorrência de acidentes nucleares e/ou radiológicos que envolvam a exposição de indivíduos do público e a contaminação do meio ambiente, dentro do projeto de modelagem ambiental. O modelo PARATI foi desenvolvido para a avaliação da exposição do público devido à contaminação de  $^{137}\text{Cs}$  em áreas urbanas [11, 12, 13]. Este modelo inclui a possibilidade de simular a implementação de medidas de proteção e sua eficácia na redução de doses para o público.

A integração desse modelo a outros, para áreas rurais e para a fase inicial foi efetuada, tendo sido criado o SIEM (Sistema Integrado de Emergência) [14]. Após o desenvolvimento do SIEM, foram feitas adaptações nos modelos, com intuito de melhorar os dados de saída obtidos pelo programa, utilizando dados levantados em território nacional [15, 16].

Procedimentos de análise multicritério vêm sendo utilizados para apoio a processos de decisão em diversas áreas [17, 18], onde o sistema de decisão é complexo e envolve alternativas conflitantes e incomensuráveis. Desta forma, foi decidido dar extensão aos trabalhos desenvolvidos pelo IRD para apoio a situações de emergência, através do levantamento de medidas de proteção e do efeito de sua aplicação a diversos momentos após a contaminação inicial. Dentro deste contexto, optou-se por estabelecer uma base de dados que permitisse sua aplicação em um modelo multicritério de tomada de decisão [19].

A descrição da eficiência das medidas de proteção é normalmente feita através da redução obtida nas concentrações dos meios ambientais onde elas são aplicadas. De forma a verificar a eficiência em termos de redução de dose, imprescindível a um processo de decisão após um evento de contaminação, foi verificada a necessidade da realização de um estudo prévio das possíveis medidas descritas na literatura. Além disso, devido à grande complexidade de acidentes e de cenários de exposição possíveis, é importante que sejam estabelecidos alguns cenários padronizados para efetuar a simulação, com o objetivo de avaliar a eficiência da aplicação das medidas, de forma a analisar o comportamento ambiental e a conseqüente exposição de pessoas em diferentes momentos após a contaminação.

## **2 Metodologia**

Os resultados obtidos no presente trabalho se aplicam a processos de remediação de áreas contaminadas, após o período inicial em que medidas de proteção da população são prioritárias e decisões relacionadas aos efeitos imediatos à saúde já tenham sido implementadas. Para a contaminação de ambientes urbanos, os cenários foram avaliados somente para o  $^{137}\text{Cs}$ . Foi considerada uma deposição seca de  $1 \text{ MBq/m}^2$  em uma superfície horizontal gramada, já definida anteriormente como superfície de

referência [11, 15]. O efeito de cada medida simulada foi avaliada em função da redução da dose externa, por um período de até 50 anos após a contaminação, para um adulto ocupando um único compartimento de forma integral (24 h/d), para cada um dos 5 cenários urbanos internos básicos. Desta forma, os valores de dose obtidos na simulação com o SIEM corresponderiam à máxima dose externa efetiva comprometida que cada indivíduo presente em seu respectivo cenário receberia. Os ambientes simulados representam:

Casa 1 – casa de madeira (baixa blindagem), típica de ambientes europeus, conforme definida por Meckbach *et al.* [20];

Casa 2 – casa de alvenaria simples, sem acabamento;

Casa 3 – casa de alvenaria com acabamento parcial, isto é, apenas um lado da parede tem acabamento;

Casa 4 – casa de alvenaria com acabamento (emboço e reboco) interno e externo;

Casa 5 – casa de alvenaria com acabamento duplo, típico para casas alemãs, conforme definida por Meckbach *et al.* [20].

As casas 3, 4, e 5 pretendem simular residências tipicamente brasileiras e apresentam blindagens conforme descrito por Salinas *et al.* [16]. Nesta abordagem, foi considerado que todas as casas possuíam apenas um andar, com forro do próprio material de construção, localizadas no centro de uma área gramada.

Adicionalmente, foram efetuadas simulações para dois tipos de áreas externas:

Parque – área ampla, aberta, gramada e com árvores;

Rua – rua pavimentada, com algumas árvores e prédios próximos.

A simulação de parques e ruas também foi efetuada considerando ocupação integral.

As doses foram estimadas utilizando o modelo PARATI, incluído no SIEM. As medidas de remediação simuladas para áreas urbanas foram aplicadas em diferentes momentos após o evento de deposição: 7 dias, 15 dias, 1 mês, 2 meses, 6 meses e 1 ano após a contaminação. As medidas de remediação simuladas foram:

– Corte de grama no entorno das cinco casas e na área do parque;

– Capina, que inclui a remoção do gramado e a região da rede de raízes, isto é, cerca de 1 cm da camada de topo do solo no entorno das cinco casas e na área do parque;

– Remoção de uma camada de 5 cm da superfície do solo no entorno das cinco casas e na área do parque;

– Raspagem de paredes nas cinco casas;

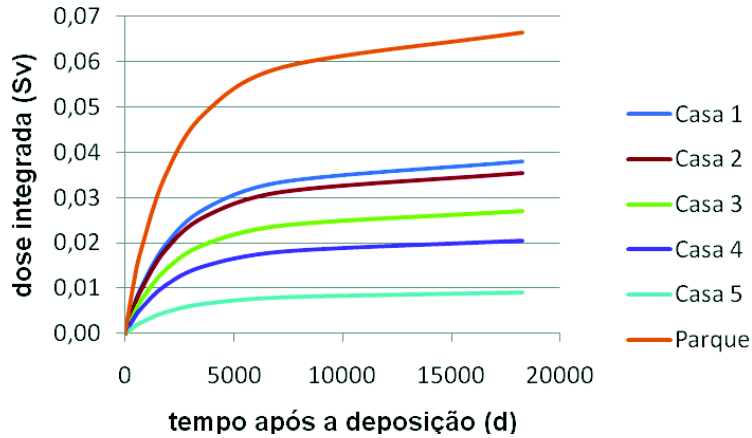
– Raspagem de telhas nas cinco casas.

### **3 Resultados**

#### **3.1 Avaliação Comparativa de Cenários Urbanos**

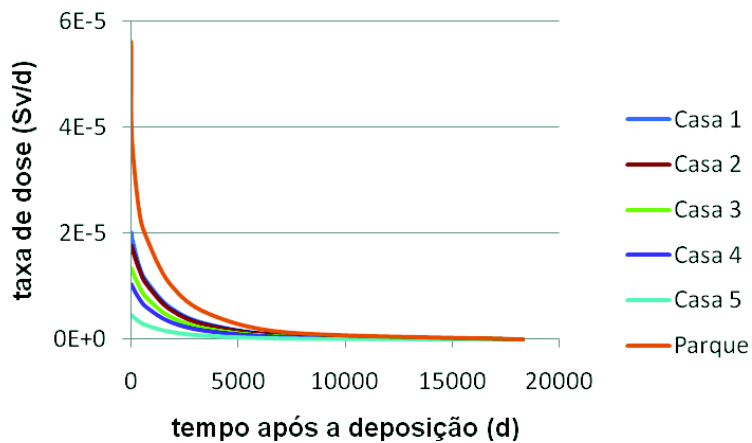
A Figura 1 apresenta os resultados de dose integrada em seis cenários urbanos simulados, sem aplicação de medidas de remediação. Observa-se que todas as casas oferecem blindagem significativa, quando comparadas com as áreas externas (parque), porém com diferenças relacionadas ao tipo de material de construção. As casas de alvenaria simples, construídas com tijolos de baixa densidade sem acabamento (casa 2), típicas das favelas do sudeste do Brasil, oferecem proteção semelhante às casas europeias de madeira (casa 1), enquanto que nossas casas de alvenaria com bom acabamento (casa 4) oferecem blindagem significativamente

inferior àquela das casas europeias (casa 5), devido às diferenças de densidade e composição do material dos tijolos.



**Fig 1.** Dose integrada em adultos com ocupação integral (24 h/d), considerando seis diferentes cenários simulados, devido a uma deposição de  $1 \text{ MBq/m}^2$  de  $^{137}\text{Cs}$  sem aplicação de medidas de remediação.

A Figura 2 mostra o comportamento da taxa de dose ao longo do tempo, para os mesmos cenários. Pode ser observada a relevância da taxa de dose logo após a contaminação, em relação à taxa de dose em longo prazo, bem como a diferença entre as taxas de dose nos diversos ambientes simulados.



**Fig. 2.** Taxa de dose em adultos com ocupação integral (24 h/d), considerando seis diferentes cenários simulados, devido a uma deposição de  $1 \text{ MBq/m}^2$  de  $^{137}\text{Cs}$  sem aplicação de medidas de remediação.

Para todas as casas, a dose recebida no primeiro ano corresponde a 15,5% da dose recebida em 50 anos e 50% da dose total é recebida nos 5 primeiros anos após a contaminação. Para parques, a dose do primeiro ano corresponde a 16,3% da dose total em 50 anos, sendo que 50% da dose total é recebida também em menos de 5 anos após a contaminação (Figura 3).

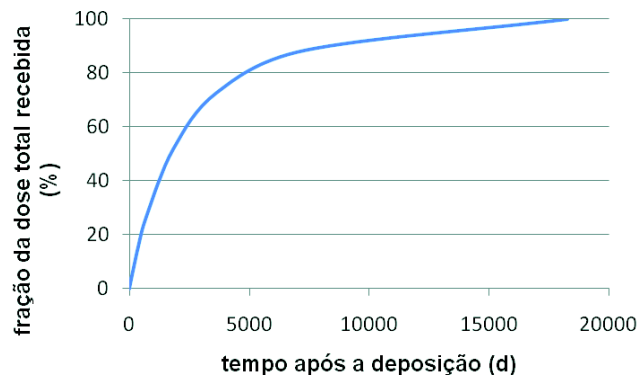


Fig. 3. Fração da dose total recebida em função do tempo após a deposição.

### 3.2 Simulação das medidas de proteção

Um exemplo do resultado da simulação do efeito da aplicação de medidas de proteção é apresentado na Figura 4, que mostra a redução percentual na dose integrada devido ao corte de grama, uma semana após o evento de contaminação. Observa-se que as curvas, para os diversos ambientes, em termos percentuais, são muito semelhantes. Este tipo de comportamento pode ser observado para todas as medidas simuladas.

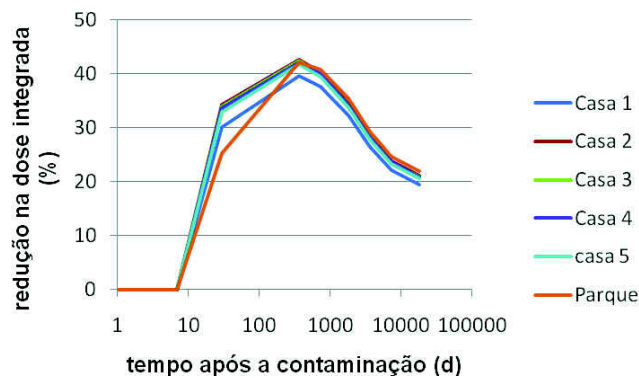
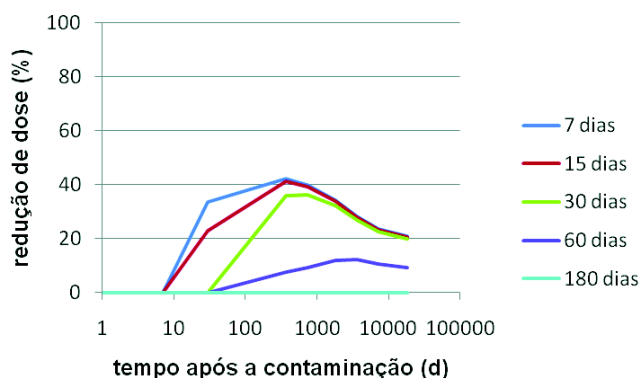


Fig. 4. Redução percentual na dose integrada devido à remoção de grama, 7 dias após a contaminação.

A Figura 5 mostra o efeito do momento de aplicação da mesma medida na redução da dose. Um resumo dos resultados obtidos para a simulação de diversas medidas, aplicadas em diferentes momentos após o evento de contaminação, é apresentado na Tabela 1.



**Fig. 5.** Redução percentual na dose integrada, devido à remoção de grama, em função do momento de aplicação da medida.

**Tabela 1.** Efeito da aplicação das principais medidas de remediação para áreas urbanas.

Medida Aplicada	Momento de Aplicação	Redução na Dose Integrada (%)	
		Médio Prazo (1 ano)	Longo Prazo (50 anos)
Corte de grama	1 a 30 dias	25 - 30	20
	> 60 dias	0,01	0
Capina	1 a 6 meses	80	90
	6 meses a 1 ano	40	80
Remoção de solo	1 a 6 meses	90	90
	6 meses a 1 ano	40	80
	1 a 2 anos	–	50
Raspagem de paredes	< 6 meses	3	3
	6 meses a 1 ano	1	2

#### 4 Discussão dos Resultados

Dentro dos aspectos radiológicos, as medidas podem ser classificadas de acordo com sua eficiência em reduzir a contaminação, em função do momento de sua implementação após o evento de contaminação. Poucas medidas têm o potencial de levar a uma redução significativa para a dose, uma vez que existem diversas superfícies contribuindo para a exposição em um determinado ambiente, tais como paredes, telhados, áreas pavimentadas, solo, grama e árvores. De um modo geral, a

única medida capaz de levar a uma redução acima de 50% inclui a remoção de solo superficial.

Também pode ser verificado que existe uma similaridade de comportamento em relação a todos os ambientes em consequência da aplicação de uma mesma medida de remediação, quando se utiliza a redução percentual de dose devido a uma determinada medida de proteção como parâmetro de avaliação. Desta forma, recomenda-se que esta grandeza seja utilizada no processo de classificação das medidas.

Considerando a relevância da dose no primeiro ano, onde as taxas de dose são mais elevadas, sugere-se a criação de dois critérios, sendo o primeiro relativo à redução da dose integrada do primeiro ano após a contaminação e o segundo, relativo à redução da dose integrada de toda a vida dos indivíduos, considerada para indivíduos adultos no momento da contaminação, como sendo a dose integrada nos 50 anos seguintes à contaminação.

Existem diversas maneiras de se classificar as medidas. Uma delas seria considerar intervalos iguais de redução da dose total. Outra forma seria considerar intervalos diferenciados, levando em conta os resultados esperados para a redução das medidas. Exemplos são apresentados na Tabela 2. Existem argumentos prós e contras as duas classificações. Desta forma, optou-se por não definir os valores dos critérios neste trabalho, mas apenas indicar as possibilidades, de forma a incluir, no futuro, a questão no processo de consulta a especialistas, previsto para definir a priorização dos diversos aspectos a serem considerados na análise multicritério.

**Tabela 2.** Exemplos de procedimentos a serem adotados para a definição de valores de critérios relativos à eficiência da aplicação da medida em reduzir as doses do primeiro ano e da dose integrada de 50 anos.

Valor do critério	Redução da dose do primeiro ano		Redução da dose de 50 anos	
	Exemplo A	Exemplo B	Exemplo A	Exemplo B
1	< 1%	1 a 20%	< 1%	1 a 20%
2	1 a 10%	21 a 40%	1 a 10%	21 a 40%
3	11 a 30%	41 a 60%	11 a 30%	41 a 60%
4	31 a 60%	61 a 80%	31 a 60%	61 a 80%
5	> 60%	> 80%	> 60%	> 80%

Quanto menor a pontuação, mais atenção deve ser dada aos aspectos negativos da medida, tais como as doses ocupacionais, o custo e o impacto decorrentes de sua aplicação, uma vez que o benefício em termos de dose será muito reduzido, podendo apenas ser justificado para situações específicas, em que não seja possível disponibilizar, a curto prazo, medidas de maior eficiência.

Um exemplo de classificação pode ser visto na Tabela 3, considerando as principais medidas de remediação para áreas urbanas simuladas neste trabalho, considerando os procedimentos do exemplo A da Tabela 2.



De acordo com estes resultados, observa-se que a medida mais relevante seria a remoção de solo, seguida pelo corte de grama e lavagem de pavimentos. Deve ser considerado, no entanto, que estes valores se aplicam à ocupação de 24 h/d no compartimento (local) considerado. A atribuição de valores vai então depender também de cenários de exposição específicos em que sejam consideradas as ocupações relativas dos diversos compartimentos por diferentes grupos da população. Apesar de aparentemente mais isento, o estabelecimento de critérios em intervalos iguais em relação ao parâmetro da descrição pode não ser o mais adequado, por ignorar a realidade dos resultados obtidos nas simulações e as reduções de dose possíveis de obter com as medidas. Porém, é importante que a seleção dos procedimentos seja um consenso entre especialistas na área, considerando a opinião e a experiência destes.

**Tabela 3.** Exemplo de aplicação de definição de valores numéricos aos critérios, em relação à eficiência da medida de remediação aplicada a curto prazo (1 semana).

Medida	Local	% Redução de dose		Valor do critério	
		1 ano	50 anos	1 ano	50 anos
lavar paredes	casas	2,3 ± 0,7	0,77 ± 0,02	2	1
	ruas	0,6	0,4	1	1
raspar paredes	casas	4	2,5	2	2
lavar telhado	casas	0,55 ± 0,09	0,09 ± 0,01	2	1
raspar telhado	casas	2,1 ± 0,4	2,4 ± 0,4	2	2
trocar telhado	casas	2,1 ± 0,4	2,4 ± 0,4	2	2
corte de árvores	ruas	5,4	0,9	2	1
	parques	16,2	4,2	3	2
lavar pavimento	ruas	26,6	19,6	3	3
corte de grama	casas	40	21	4	3
remoção de solo (5 cm)	casas	98,1 ± 0,5	94,3 ± 0,5	5	5

Outro critério a ser utilizado seria a perda de eficiência da medida devido ao atraso na sua aplicação. Neste caso também, diversos procedimentos poderiam ser estabelecidos para definir os critérios, conforme os exemplos mostrados na Tabela 4. Este critério fornece indicação sobre o prazo em que a aplicação da medida mantém a eficiência prevista.

Assim, uma medida tipo 1 deve ser aplicada em prazo muito curto para ter a eficiência definida na Tabela 1, requerendo então planejamento prévio, na medida do possível, e sua aplicação vai depender da disponibilidade de recursos imediatos. Já uma medida tipo 4 pode ser implementada após um planejamento mais adequado, por exemplo, em relação ao gerenciamento do rejeito gerado ou a um treinamento da

força de trabalho, permitindo a otimização de vários fatores, como, por exemplo, as doses ocupacionais, a comunicação com o público, a aquisição de materiais e de equipamentos, entre outros.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho é parte de um projeto, voltado para a preparação em casos de emergência, que vem sendo desenvolvido em etapas pelo IRD, desde o acidente de Goiânia, em 1987. As experiências nacional e internacional envolvendo acidentes nucleares e radiológicos evidenciaram a necessidade da existência de um planejamento prévio, de forma a evitar esforços em medidas que não sejam eficientes em reduzir a dose das pessoas envolvidas, levando em conta, porém, os efeitos de garantir a tranquilidade da população.

**Tabela 4.** Exemplos de procedimentos a serem adotados para a definição de valores de critérios relativos à perda de eficiência devido ao atraso na aplicação da medida.

<b>Valor do Critério</b>	<b>Descrição – exemplo A</b>	<b>Descrição – exemplo B</b>
Medida tipo 1	a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 1 semana	a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 3 meses
Medida tipo 2	a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 1 mês	a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 6 meses
Medida tipo 3	a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 6 meses	a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 9 meses
Medida tipo 4	a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 1 ano	a aplicação perde mais de 50% de sua eficiência se aplicada após 12 meses
Medida tipo 5	a aplicação não perde mais de 50% de sua eficiência mesmo se aplicada após 1 ano	a aplicação não perde mais de 50% de sua eficiência mesmo se aplicada após 1 ano

Como fase inicial de uma abordagem de método multicritério para a tomada de decisão sobre a aplicação de medidas de remediação em áreas contaminadas, este trabalho teve como proposta efetuar uma avaliação das medidas citadas na literatura e verificar sua eficiência, considerando cenários e parâmetros característicos do Brasil. Os resultados indicam que qualquer processo de tomada de decisão deve ser efetuado caso a caso, de acordo com as condições reais da área atingida, considerando as características da contaminação, da ocupação e do uso das áreas afetadas. Apesar de

ser possível estabelecer algumas diretrizes básicas, soluções genéricas são desaconselhadas, uma vez que as doses resultantes serão muito dependentes da situação real e do momento da contaminação.

A partir dos resultados obtidos para as áreas urbanas, são sugeridos 3 critérios de classificação para as medidas de proteção, que seriam:

- (i) sua eficiência em reduzir as doses no primeiro ano, onde são observadas as maiores taxas de dose;
- (ii) sua eficiência em reduzir a dose de longo prazo, considerando 50 anos para um indivíduo adulto no momento da contaminação; e,
- (iii) o efeito do atraso na aplicação das medidas em relação à eficiência na redução de doses.

O trabalho deverá ter continuidade com o desenvolvimento do modelo multicritério de tomada de decisão, a fim de que o efeito das medidas, em função do tipo de ambiente no momento de sua aplicação, possa ser avaliado juntamente com os parâmetros não radiológicos.

## Referências

1. IAEA: The radiological accident in Goiânia. International Atomic Energy Agency (1988).
2. IAEA: Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. Radiological Assessment Reports Series, International Atomic Energy Agency (2006).
3. IAEA: The Radiological Accident in the Reprocessing Plant at Tomsk. Accident Response Series. International Atomic Energy Agency (1998).
4. Müller, H., Pröhl, G.: ECOSYS-87: A Dynamic Model for Assessing Radiological Consequences of Nuclear Accidents. Health Physics (1993) 232-252.
5. Roed J.: Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas, Report Risø-R-1396(EN) (2003).
6. Charnock T., Brown J., Jones A.L. et al.: CONDO: Software for Estimating the Consequences of Decontamination Options. Report NRPB-W43. Chilton (2003).
7. Nisbet, A., Jones, A., Brown, J. et al.: UK Recovery Handbook for Radiation Incidents: 2008. HPA-RPD-042 – Health Protection Agency, UK (2008).
8. Zeevaert, T., Bousher, A., Brendler, V. et al.: Evaluation and ranking of restoration strategies for radioactively contaminated sites. Journal of Environmental Radioactivity (2001) 33-50.
9. Rochedo E.R.R.: The Radiological Accident in Goiânia: Environmental Aspects in Restoration of Environments with Radioactive residues. International Atomic Energy Agency, Proceeding Series (2000) p. 365-384.
10. Health Physics. Special Issue: The Radiological Accident in Goiânia. v. 60, n. 1 (1991).
11. Rochedo E.R.R., Conti L.F.C.; Paretzke H.G.: PARATI- a dynamic model for radiological assessments in urban areas - Part I. Modelling of urban areas, their contamination and radiation fields. Radiation and Environmental Biophysics (1996) 243-261.
12. Rochedo E.R.R.; Conti L.F.C.; Paretzke H.G.; PARATI - A dynamic model for radiological assessments in urban areas - Part II. Specifications of individuals and populations, their radiation exposures and variabilities. Radiation and Environmental Biophysics (1997) 183-193.
13. Rochedo E.R.R.; Conti L.F.C.; Paretzke H.G.: PARATI - A dynamic model for radiological assessments in urban areas - Part III. Parameter uncertainty analysis. Radiation and Environmental Biophysics (1998) 285-292.
14. Conti L.F.C., Rochedo E.R.R., Amaral E.C.S.: Desenvolvimento de um sistema integrado para avaliação de impacto radiológico ambiental em situações de emergência. Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento (2002) 872-879.

15. Vetere M.I.C.; Rochedo E.R.R.; Conti L.F.C.: Aplicação do Sistema Integrado de Avaliação de Impacto radiológico Ambiental em situações de Emergência para a avaliação da Exposição Radiológica de Populações de Áreas Urbanas. *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento* (2002) 729-736.
16. Salinas I.C.P., Conti C.C., Rochedo E.R.R., Lopes R.T.: Gamma Shielding Factor for Typical Houses in Brasil. *Radiation Protection Dosimetry* (2006) 420-424.
17. Schenker-Wicki A.: The Use of Multi-criteria Analysis (MCA) for Evaluating Feasible Countermeasures after an Accidental Release of Radioactivity. IVth International Symposium of Radioecology, Cadarache, France. IUR, (1988).
18. Menezes, J.O.R. Produção Regional de Aço: Responsabilidade corporativa e contribuições do capital social para o desenvolvimento regional. Tese DSc., Escola de Química, UFRJ (2008).
19. Silva, D.N.G., Rochedo, E.R.R., Wasserman, M.A.V.: Remediation strategies after nuclear or radiological accidents: part 1 – database development. International Nuclear Atlantic Conference - INAC (2009).
20. Meckbach R, Jacob P, Paretzke H.: Gamma Exposures Due to Radionuclides Deposited in Urban Environments. Part I: Kerma Rates from Contaminated Urban Surfaces. *Radiation Protection Dosimetry* Vol.25 N.3, pp. 167-180 (1988).

# RADIO 2011

## Avaliação de Medidas de Proteção para Ambientes Rurais

Diogo N. G. Silva<sup>1</sup>, Maria Angélica V. Wasserman<sup>2</sup>, Elaine R. R. Rochedo<sup>3</sup>,  
Fernanda L. Silva<sup>1</sup>, Luiz F. C. Conti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Av. Salvador Allende s/No., 22780-160, Brasil

[dneves@ird.gov.br](mailto:dneves@ird.gov.br)

[lfcconti@ird.gov.br](mailto:lfcconti@ird.gov.br)

[fleite@ird.gov.br](mailto:fleite@ird.gov.br)

<sup>2</sup> Instituto de Engenharia Nuclear. Rua Hélio de Almeida, 75 - Cidade Universitária - Ilha do Fundão - 21941-972, Brasil

[maria.wasserman@pq.cnpq.br](mailto:maria.wasserman@pq.cnpq.br)

<sup>3</sup> Coordenação de Instalações Nucleares (CODIN / CNEN). Rua da Passagem 123, 9º andar 22290-030, Brasil

[erochedo@cnen.gov.br](mailto:erochedo@cnen.gov.br)

**Abstract.** Dentre as atividades de planejamento de atuação em emergências nucleares e/ou radiológicas, inclui-se a avaliação da eficiência da aplicação de medidas de proteção e de remediação. A partir do desenvolvimento de um banco de dados sobre tais medidas para áreas agrícolas, o programa SIEM foi utilizado para efetuar as simulações envolvendo os radionuclídeos <sup>137</sup>Cs, <sup>131</sup>I e <sup>90</sup>Sr, em cenários previamente estabelecidos para simular essas áreas em um raio de 50 km em torno da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto. Os resultados obtidos indicam que o cenário é determinante na eficiência das medidas, envolvendo diversos fatores específicos de cada local, tais como: produtos agropecuários, hábitos de consumo da população e grau de subsistência pelos itens da dieta, tornando inviável a elaboração de cenários genéricos pré-definidos. A grande dependência da sazonalidade em relação ao momento do acidente torna qualquer avaliação prévia inadequada para avaliar a eficiência das medidas de proteção e de remediação. Desta forma, não são recomendadas decisões prévias sobre a relevância de medidas de proteção para áreas rurais. Dois critérios de classificação foram então definidos: (i) eficiência em reduzir as doses no primeiro ano; e, (ii) eficiência em reduzir a dose de longo prazo.

## 1 Introdução

Uma das preocupações no cenário internacional é o estudo das consequências de acidentes e de outros eventos que levem à contaminação do meio ambiente e à exposição do público. Os diversos acidentes ocorridos e a atuação das equipes encarregadas da proteção radiológica do público evidenciaram a necessidade de um planejamento prévio para a avaliação da exposição do público, além de diretrizes pré-definidas para a implementação das medidas de proteção mais adequadas [1, 2].

No caso de acidentes em áreas rurais, o maior impacto é relativo à contaminação de alimentos e às doses de ingestão decorrentes deste evento. A contaminação de alimentos se processa em duas etapas principais. A primeira, responsável pelos

maiores níveis de contaminação, deve-se à contaminação das partes aéreas das plantas, em razão da deposição do material liberado por via atmosférica. Este processo é muito dependente da sazonalidade, uma vez que a contaminação vai depender do estágio de crescimento da planta no momento da deposição, bem como do tempo disponível para que a contaminação seja translocada através da planta até suas partes comestíveis. A segunda etapa se refere à contaminação residual, devido ao material depositado no solo e vai depender, principalmente, do radionuclídeo, da sua meia-vida e do seu comportamento naquele tipo de solo.

Seguindo a tendência internacional, o IRD vem desenvolvendo ferramentas de apoio a processos de tomada de decisão em situações de acidentes radiológicos e/ou nucleares. Em relação à aplicação de medidas de proteção para o público, numa primeira etapa, foi realizado um levantamento das medidas de proteção e remediação descritas na literatura [3].

A descrição da eficiência das medidas de proteção é normalmente feita através da redução obtida nas concentrações dos meios ambientais onde elas são aplicadas. Por isso, de forma a verificar a eficiência em termos de redução de dose, imprescindível a um processo de decisão após um evento de contaminação, foi verificada a necessidade da realização de um estudo prévio. Este estudo se deve à importância de se estabelecer um cenário básico, que seja típico de áreas de interesse, considerando a relevância dos diferentes tipos de solo e os hábitos das populações que possam ser afetadas em caso de acidentes, com o objetivo de avaliação de doses. O uso de modelos computacionais para simular opções de remediação permite a avaliação das situações ou das estratégias de recuperação alternativas, no contexto de uma preparação de atuação em emergências ou de uma tomada de decisão.

A descrição das medidas de proteção visando sua utilização dentro de um processo multicritério de tomada de decisão deve envolver aspectos técnicos, radiológicos, político-sociais e econômicos. Neste trabalho, entretanto, foram focalizados apenas os aspectos radiológicos.

## 2 Metodologia

Selecionou-se, como base para a elaboração dos cenários para a simulação das medidas de proteção, a área em torno da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (no município de Angra dos Reis), de forma a utilizar os dados levantados em trabalhos anteriores. Foram elaborados cenários baseados nas informações disponíveis para a área, no caso, em um raio de 50 km para áreas rurais [4, 5, 6].

Para essas áreas, o cenário básico considera uma deposição de 1 kBq/m<sup>2</sup> de <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr e <sup>131</sup>I. Os radionuclídeos <sup>137</sup>Cs e <sup>90</sup>Sr foram selecionados por sua relevância para a dose após acidentes nucleares, mas também por já terem sido alvo de estudos radioecológicos no Brasil e, conseqüentemente, já existem dados de comportamento ambiental relacionados a estes radionuclídeos incorporados no modelo utilizado para as simulações [4, 5, 6, 7].

Apesar de não existirem dados disponíveis para o Brasil relativo ao comportamento de iodo no meio ambiente, em particular no Latossolo Vermelho-Amarelo, típico da região sendo simulada, decidiu-se incluir na análise o <sup>131</sup>I, devido à sua relevância para as doses após acidentes de reatores. Esta aproximação foi considerada aceitável, em um primeiro momento, uma vez que a meia-vida do <sup>131</sup>I é muito curta, cerca de 8

dias; portanto, seu comportamento ambiental não vai ser muito afetado por processos ambientais relacionados, por exemplo, à fixação no solo, entre outros, que ocorrem em escalas de tempo maiores. Esta hipótese, porém, deve ainda ser confirmada por estudos experimentais no futuro.

As simulações foram realizadas de forma independente para cada radionuclídeo, uma vez que o termo-fonte real de um acidente sempre possui composições variadas desses radionuclídeos, conforme o tipo de liberação e as condições meteorológicas vigentes naquele momento.

Em relação aos hábitos de consumo de alimentos, foi estabelecida uma dieta baseada nas taxas de ingestão médias *per capita* por tipo de alimento para o Rio de Janeiro, conforme descrito pelo estudo de consumo familiar do IBGE. As taxas de ingestão utilizadas neste estudo estão apresentadas na Tabela 1, considerando um indivíduo adulto, seguindo a classificação adotada pelo IBGE [8]. Como existe produção de todos os itens da dieta na área de estudo, foi considerado, de forma conservativa, que todo o alimento consumido é proveniente da área contaminada.

**Tabela 1.** Taxas de ingestão de produtos produzidos na área contaminada.

Item	Consumo (g/d)
Cereal	118
Hortaliça leguminosa	32
Hortaliça folhosa	8
Hortaliça frutosa	41
Hortaliça tuberosa	47
Frutas	77
Carnes de boi	66
Carne de galinha	37
Leite	164

Este cenário foi então utilizado para avaliação da redução de dose devido à aplicação de contramedidas específicas, utilizando o código SIEM [7]. As simulações são realizadas primeiro sem aplicação de medidas de remediação e depois com a aplicação delas, de forma a avaliar a redução na taxa de dose obtida a partir de cada um dos alimentos, a curto, médio e longo prazos.

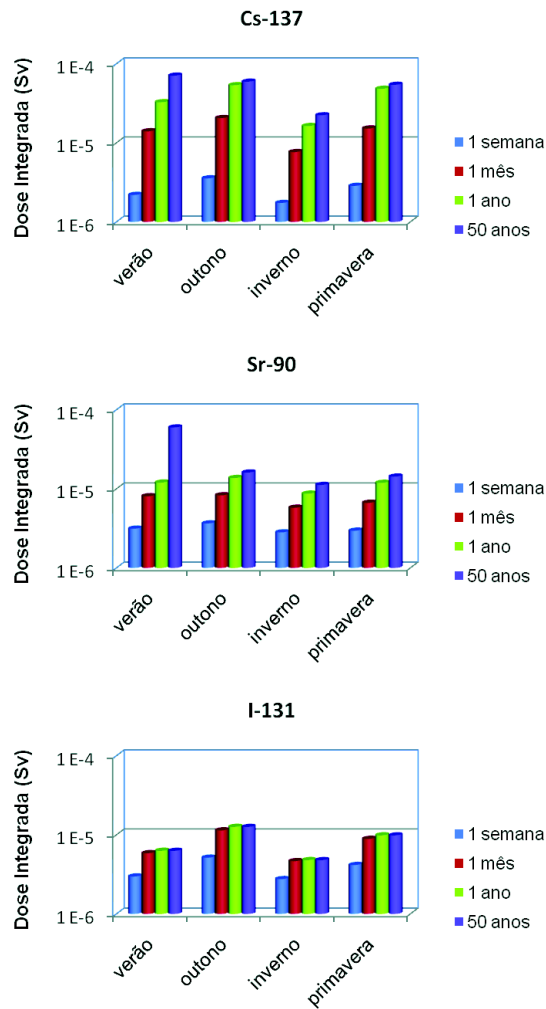
Devido a limitações do programa para simular medidas mais complexas, a principal medida simulada foi a retirada de consumo de cada um dos itens alimentares em diferentes períodos após o acidente. Esta medida indica a dose máxima a ser evitada em relação a um determinado tipo de produto.

### 3 Resultados

#### 3.1 Avaliação Comparativa de Cenários Rurais

Neste trabalho, os cenários rurais consideram apenas a dose de ingestão de alimentos contaminados. A Figura 1 apresenta os resultados de dose integrada de ingestão para

os radionuclídeos estudados, considerando acidentes ocorridos nas diferentes estações do ano. Observa-se que, no caso do  $^{137}\text{Cs}$ , cerca de 20 a 30% da dose é recebida no primeiro mês após a contaminação, enquanto que, para o  $^{131}\text{I}$ , mais de 90% é recebida no primeiro mês, e, para o  $^{90}\text{Sr}$ , este valor varia de 13 a 50%, dependendo da época do ano em que ocorre o acidente.



**Fig. 1.** Dose integrada em função do tempo para os radionuclídeos  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  e  $^{90}\text{Sr}$ , para uma contaminação ocorrendo em diferentes épocas do ano.



### 3.2 Aplicação de Medidas de Proteção

A Figura 2 mostra o efeito, na dose integrada de ingestão, da implementação de medidas de proteção relativas à retirada de consumo de cada um dos produtos agrícolas, uma semana após a contaminação, para o caso de uma contaminação com  $^{137}\text{Cs}$ .

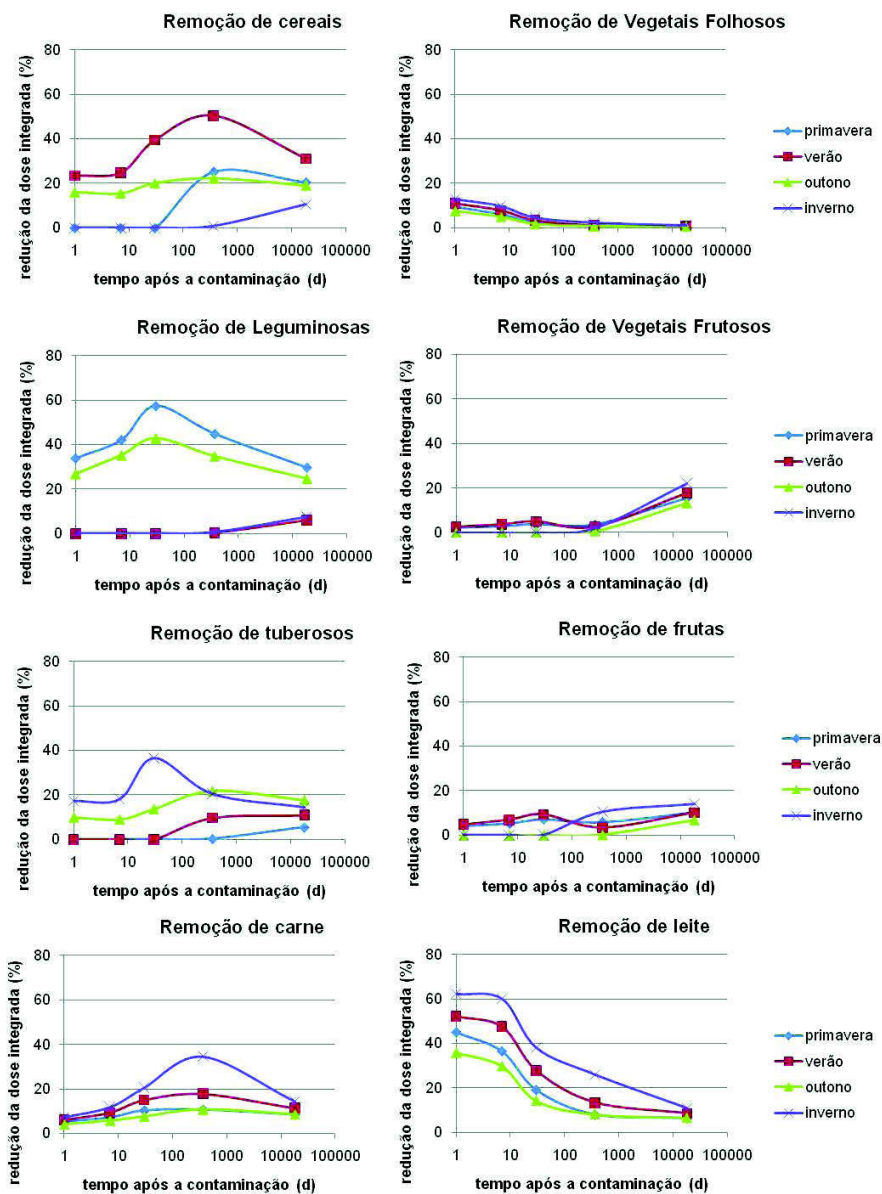


Fig. 2. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção do consumo de cada item individual da dieta de referência, uma semana após a contaminação por  $^{137}\text{Cs}$ .

Pode ser observado o efeito da relevância de cada item da dieta para a dose de ingestão, bem como o efeito da sazonalidade. A dose vai depender dos períodos de plantio e de colheita dos diversos produtos, principalmente no primeiro ano após a contaminação.

Observa-se que os efeitos da redução da dose integrada por ingestão são inferiores a 20%, exceto para a remoção de: cereais, tuberosas, leguminosas, carne e leite. O efeito da sazonalidade é bastante evidente, e pode ser percebido que a relevância dos diversos itens alimentares varia tanto com a época do ano em que ocorre a contaminação, quanto com o tempo após o evento. O efeito é bastante pronunciado, principalmente no primeiro ano após a contaminação. Em longo prazo, o efeito da sazonalidade tende a diminuir.

No caso da remoção de leite, a redução é bastante eficaz a curto e a médio prazos, podendo, portanto, ser considerada uma medida altamente indicada. O efeito da sazonalidade na remoção do leite pode ser observado também a curto e a médio prazos, sendo que a maior eficiência é observada para o caso de um acidente ocorrendo no inverno.

Destes resultados, pode-se concluir que a eficiência de uma determinada medida para um determinado radionuclídeo depende não só do cenário estabelecido, mas também da sazonalidade.

Os resultados das simulações para a retirada de produtos da dieta contaminados por  $^{90}\text{Sr}$  são apresentados na Figura 3. Observa-se um comportamento, de um modo geral, bastante semelhante àquele observado para o  $^{137}\text{Cs}$  em relação à sazonalidade, isto é, os efeitos são mais pronunciados no primeiro ano após a contaminação, com tendência a diminuir ao longo do tempo. O efeito na redução de doses, porém, é mais pronunciado para a remoção de leite, a curto prazo, e cereais e leguminosas, a médio e a longo prazos.

Observa-se também a relevância da contaminação por deposição foliar, pela contribuição dos vegetais folhosos para a dose de curto prazo, diminuindo após o primeiro ano a partir da contaminação. Medidas relacionadas aos demais itens da alimentação terão, de um modo geral, efeito inferior a 5% na redução da dose de ingestão.

A Figura 4 mostra o efeito da implementação de medidas de proteção relativa à retirada de consumo de cada um dos produtos alimentares, uma semana após a contaminação, para o caso do  $^{131}\text{I}$ . O efeito da sazonalidade pode ser observado apenas nos alimentos cuja redução da dose integrada foi significativa (leite, cereais, leguminosas e vegetais tuberosos).

No caso do iodo, pode ser observada a relevância do leite para a dose de curto prazo. A diminuição observada após cerca de 20-30 dias reflete o aumento da contribuição para a dose devido a outros tipos de alimento relevantes para a dieta, em particular cereais e leguminosas, que apresentam um atraso na contaminação devido ao processo de translocação da contaminação até a parte comestível da planta.

Pela Figura 4, pode-se observar também que qualquer medida para reduzir a dose de ingestão devido a uma contaminação por  $^{131}\text{I}$  deve ser implementada a curto prazo para ser eficiente, uma vez que toda a dose devido a este radionuclídeo deverá ser recebida em um período inferior a cerca de 80 a 100 dias. Para o leite, a medida deve ser tomada dentro dos primeiros dias após a contaminação.

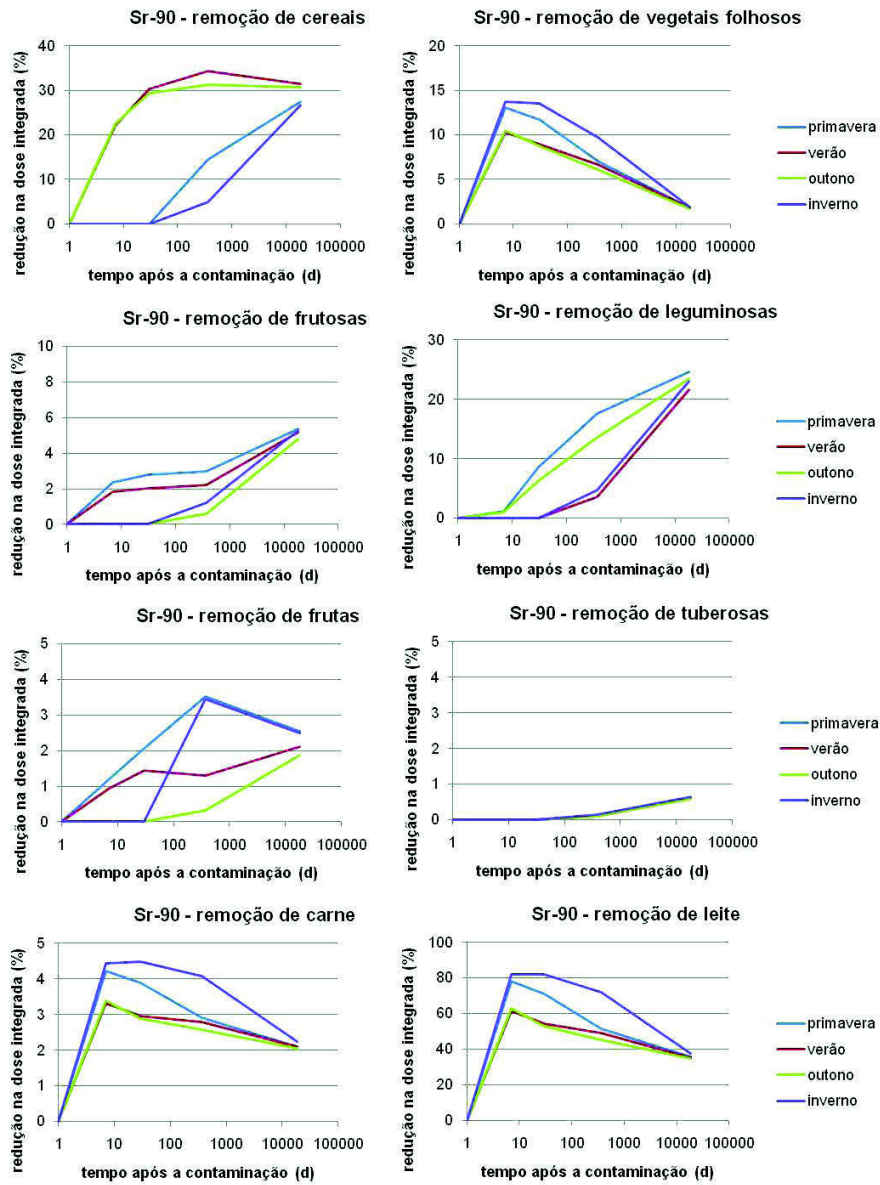


Fig. 3. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de cada item individual da dieta de referência, uma semana após a contaminação por <sup>90</sup>Sr.

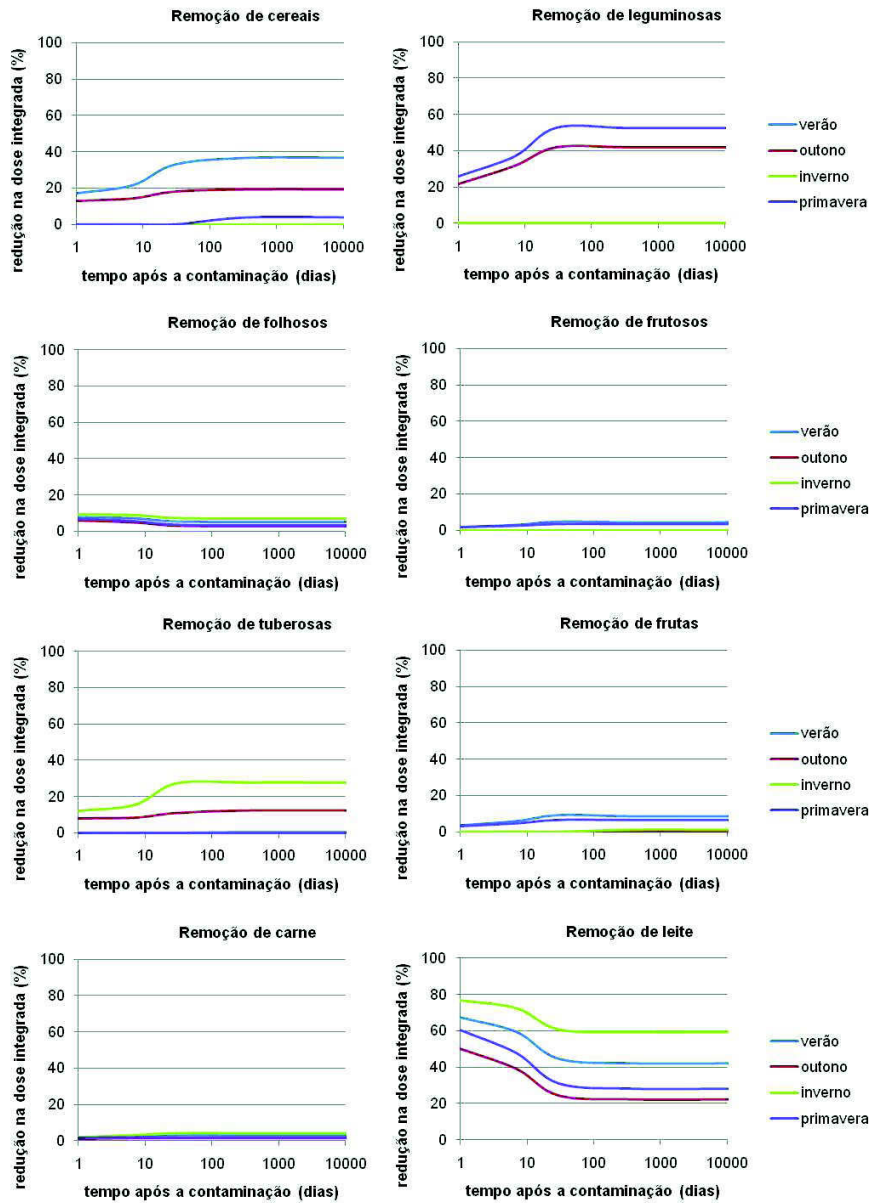


Fig. 4. Redução na dose integrada, em função do tempo, devido à remoção de consumo de cada item individual da dieta de referência, uma semana após a contaminação por  $^{131}\text{I}$ .

### 3.3 Questões Relacionadas com o Termo-Fonte

A Figura 5 apresenta a contribuição percentual de cada tipo de alimento para a dose total de ingestão (50 anos), considerando uma deposição idêntica dos 3 radionuclídeos considerados neste trabalho, para um acidente ocorrendo no verão. Pode ser observado que a contribuição de cada radionuclídeo para a dose de ingestão varia para cada tipo de alimento e que a relevância de cada alimento para a dose total é diferente daquela relativa a cada um dos radionuclídeos considerados de forma individual.

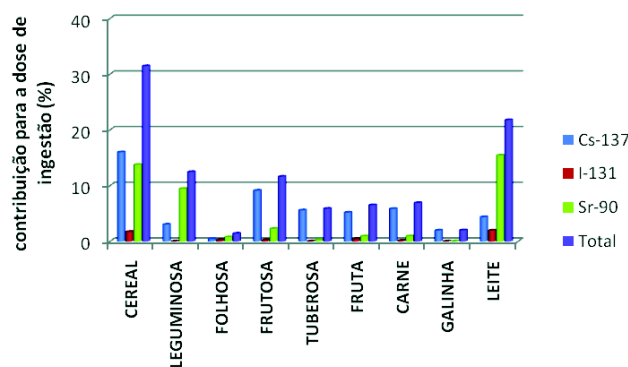


Fig. 5. Contribuição dos alimentos para a dose total de ingestão, integrada em 50 anos, para uma deposição igual dos três radionuclídeos considerados.

### 3.4 Discussão dos Resultados

A definição de critérios para áreas rurais pode ser semelhante àqueles utilizados para áreas urbanas, conforme descrito por Rochedo *et al.* [9]. Entretanto, sua aplicação é mais complexa. O cenário é determinante na eficiência das medidas e envolvem diversos fatores que são específicos de cada local, tais como produtos agrícolas produzidos no local, hábitos de consumo da população e grau de subsistência dos itens que compõem a dieta, tornando inviável a elaboração de cenários genéricos pré-definidos. Além disso, a grande dependência da sazonalidade em relação ao momento do acidente, levando em conta as práticas agropecuárias locais, torna qualquer avaliação prévia inadequada para ponderar as consequências do acidente e a eficiência das medidas de proteção/remediação. Com base na figura 5, pode-se observar que decisões sobre a relevância de medidas de proteção para áreas rurais não devem ser efetuadas sem o conhecimento específico do termo-fonte real.

## 4 CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho indicam que qualquer processo de tomada de decisão deve ser efetuado caso a caso, de acordo com as condições reais da área atingida, considerando as características do termo-fonte de contaminação, a época do ano em que ocorre o acidente, as características de ocupação e de uso das áreas afetadas, as

práticas agropecuárias e os hábitos alimentares das populações afetadas. Apesar de ser possível estabelecer diretrizes básicas, soluções genéricas são desaconselhadas, uma vez que as doses resultantes serão muito dependentes da situação real e do momento da contaminação. Desta forma, decisões prévias sobre a relevância de medidas de proteção para áreas rurais não devem ser efetuadas. Uma quantidade muito grande de fatores específicos do local e do momento em que ocorre o acidente tem que ser considerados na análise, de forma a cumprir o objetivo de reduzir a dose da população de maneira otimizada. No entanto, em relação a uma contaminação com  $^{131}\text{I}$ , medidas devem ser tomadas a curto prazo para serem eficientes na redução das doses.

Tendo como base os resultados obtidos para as áreas urbanas, sugerem-se os mesmos critérios de classificação para as medidas de proteção em áreas rurais, descritos a seguir:

- (i) sua eficiência em reduzir as doses no primeiro ano, onde são observadas as maiores taxas de dose;
- (ii) sua eficiência em reduzir a dose de longo prazo, considerando 50 anos para um indivíduo adulto no momento da contaminação; e,
- (iii) o efeito do atraso na aplicação das medidas em relação à eficiência na redução de doses.

## Referências

1. IAEA: The radiological accident in Goiânia. International Atomic Energy Agency (1988).
2. IAEA: Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. Radiological Assessment Reports Series, International Atomic Energy Agency (2006).
- 3.. Silva, D.N.G., Rochedo, E.R.R., Wasserman, M.A.V.: Remediation strategies after nuclear or radiological accidents: part 1. database development. International Nuclear Atlantic Conference - INAC (2009).
4. Vinhas, D.M., Rochedo, E.R.R., Wasserman, M.A.V., Conti L.F.C.: Modeling the dynamics of radionuclide concentration in food after an accident in tropical areas. Rev. Brasil. P&D, v.7, (2000). 139-144.
5. Wasserman, M.A., Bartoly, F., Viana, A.G., Silva, M.M., Rochedo, E.R.R., Perez, D.V., Conti, C.C.: Soil to plant transfer of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$  in Ferralsol, Nitisol and Acrisol. Journal of Environmental Radioactivity, v.99 (2008) 546-553.
6. Wasserman, M.A., Perez, D.V., Ferreira, A.C., Conti, C.C., Rochedo, E.R.R., Bartoly, F., Viana, A.G., Moura, G.P., Poquet, I.C.: Valores de transferência solo-planta de Cs-137 em solos de sistemas agro-ecológicos tropicais, Rev. Brasil. P&D, v.4, n.3 (2002) 737-741.
7. Conti L.F.C., Rochedo E.R.R., Amaral E.C.S.: Desenvolvimento de um sistema integrado para avaliação de impacto radiológico ambiental em situações de emergência. Rev. Brasil. P&D (2002) 872-879.
8. IBGE: Pesquisa de orçamentos familiares 2008-2009 - Avaliação nutricional da disponibilidade domiciliar de alimentos no Brasil. IBGE, 2010.
9. Rochedo, E.R.R.; Silva, D.N.G., Wasserman, M.A.V., Nascimento, U., Conti, L.F.C.: Avaliação de Medidas de Proteção para Ambientes Urbanos. II Congresso Brasileiro de Proteção Radiológica, Recife, 2011.



## **PARTE 2**

# **RESUMOS APRESENTADOS**





# Development of a multi-criteria analysis system to support decision processes in radiological emergencies in a tropical climate country

Elaine R. R. Rochedo<sup>1</sup>, Diogo N. G. Silva<sup>2</sup>, Maria A. V. Wasserman<sup>2</sup>, Pedro R. R. Rochedo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Coordenação de instalações nucleares/CNEN, R. Passagem 123, 9th floor, 22290-030, Rio de Janeiro, RJ*

<sup>2</sup>*Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Av. Salvador Allende s/ N.º., 22793-200 Rio de Janeiro, RJ, Brazil*

<sup>3</sup>*COPPE/PPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ*

## Abstract

One of the permanent concerns in the international scenario is the study of the consequences of nuclear and radiological accidents and other events that lead to the environment contamination and the exposure of members of the public. In such situations, the decision-making process needs to be based in solid technical criteria; however, it must also take into account the current prevailing circumstance in order to reach optimized measures to protect people and the environment. The Multi-Criteria Analysis Method is already being used for similar applications in some European countries but it is necessary that the criteria are established taking into account economic, social and climatic aspects that can affect the selection of protective measures applicable to specific regions. It is also important that the selection of the different weights is associated to the different criteria that are to be applied to different social-politic environments. The present work describes the development of a multi-criteria tool to support the decision-making process for the implementation of protective measures to protect the public in radiological accident situations, with the degree of flexibility to be easily adapted to the different regions of Brazil. In a first stage, the Institute of Radiological Protection and Dosimetry (IRD, from CNEN) has developed the SIEM code (Emergency Integrated System) and a database describing the protective measures. This database considers some relevant aspects of radiological protection in order to generate a decision-making process. The main radiological criterion in this process is the dose reduction to members of public. In a second stage, a basic release and an exposure scenario were developed to assess the dose reduction due to the mostly used procedures. Exposure scenarios were selected to fit the surroundings of the Brazilian nuclear power plants in Angra dos Reis (Rio de Janeiro), and simulations were performed using SIEM. In order to support a Multi-Criteria Analysis, it was necessary to develop some countermeasure classification systems, which were based on their dose effects in function of time application and type of radionuclide. This tool was elaborated through the comparison of different options considering a diversity of aspects, such as the measure efficiency, the radiation doses received by workers, the generated waste characteristics, the difficulty of implementing the measures, as well as the operational costs. The results are still preliminary, but it is already possible to develop a model to perform the Multi-Criteria Analysis. Therefore, this paper describes the steps already developed and the current status of the system under development. It also discusses difficulties found and stresses the needs for future developments.

Keywords: nuclear/radiological accidents; decision-making process; multi-criteria analysis.

Área de interesse: Radioecologia e Toxicologia Ambiental

# **Avaliação Preliminar da Eficiência de Medidas de Proteção contra Acidentes Envolvendo Materiais Radioativos em Áreas Rurais de Ambientes Tropicais**

**Diogo N. G. Silva<sup>1</sup>, Elaine R. R. Rochedo<sup>2</sup>, Maria A. V. Wasserman<sup>1</sup>, Luiz F. C. Conti<sup>1</sup>**

1 Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Av. Salvador Allende s/ n, 22793-200 Rio de Janeiro, RJ

2 Coordenação de Instalações Nucleares/CNEN, R. Passagem 123, 9º andar, 22290-030, Rio de Janeiro, RJ

Desde o acidente radiológico de Goiânia, em 1987, o IRD (Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD/CNEN) tem desenvolvido ferramentas de apoio a processos de tomada de decisão após um acidente nuclear ou radiológico, os quais levam à contaminação do meio ambiente e à exposição de indivíduos do público. Esses processos incluem o estabelecimento de um modelo multicritério de apoio, que envolve aplicações de medidas de proteção e de remediação de áreas contaminadas. Desta forma, a avaliação da eficiência dessas medidas vem sendo pesquisada. Em uma primeira etapa, foram estudadas as medidas relacionadas à contaminação de uma área urbana. No presente trabalho, é efetuada uma primeira avaliação das consequências da implementação de medidas de proteção em decorrência de uma contaminação em áreas rurais. A análise da eficácia das medidas de proteção para este tipo de área é mais complexa do que a análise em áreas urbanas, pois os efeitos das medidas de proteção vão depender de diversos fatores, além da composição do termo-fonte de contaminação. Nesta primeira etapa, foram avaliados os efeitos relacionados a dieta e a sazonalidade. Para executar esta avaliação, foi estabelecido um cenário básico e foram realizadas simulações de acidentes ocorrendo nas diferentes estações do ano, contendo separadamente liberação dos radionuclídeos Cs-137, I-131 e Sr-90. Os resultados indicam que qualquer processo de tomada de decisão deve ser efetuado caso a caso, de acordo com as condições reais da área atingida, considerando as características do termo-fonte de contaminação, a época do ano em que ocorre o acidente, as práticas agropecuárias locais e os hábitos alimentares reais das populações afetadas. Apesar de ser possível estabelecer algumas diretrizes básicas, soluções genéricas são desaconselhadas, uma vez que as doses resultantes serão muito dependentes da situação real e do momento da contaminação. Além disso, a sazonalidade associada às práticas agropecuárias e o grau de subsistência das populações em relação à produção agrícola local levam a uma grande variação nas doses recebidas em curto, médio e longo prazos.

Palavras-chave: exposição do público, modelagem ambiental, avaliação de dose.

Área de interesse: Radioecologia e Toxicologia Ambiental



## **PARTE 3**

### **RESUMOS ACEITOS**



# **Multi-criteria Analysis to Support Decision-Making Process in the Event of Radiological Emergency in Tropical Climate Countries**

Jose F. Pereira, Elaine R. R. Rochedo, Maria Angélica V. Wasserman, Diogo N. G. Silva,  
*Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Av. Salvador Allende s/ No., 22793-200 Rio de Janeiro, RJ, Brazil*

## **Abstract**

The Multi-criteria Analysis has been widely used in the most diverse areas of the knowledge such as Economy, Transport, Industry, Production, among others. The Multi-criteria Analysis aims to support the decision process, based on the comparison of alternatives, leading to the recommendation of optimized actions in support to decision makers. One of the permanent concerns in the international scenario is the study of the nuclear/radiological consequences of accidents and other events that lead to the contamination of the environment and the exposure of members of the public as a consequence of this contamination. The Multi-criteria Analysis Method is already being used for similar applications in some European countries but it is necessary that the criteria are established taking in account economic, social and climatic aspects that can affect the selection of protective measures applicable to specific regions, and the selection of the different weights to be associated to the different criteria that are to be applied to different social-politic environments.

The present work describes the development, already in advanced phase, of a Multi-criteria tool to support the decision making process for the implementation of protective measures to protect the public in situations of radiological accidents, with the degree of flexibility to be easily adapted to the different social, political and climatic regions of Brazil, through the comparison of different options considering a diversity of aspects, such as the efficiency of the measure in the reducing public exposure, the radiation doses that would be received by the workers, the characteristics of the generated wastes, the difficulty of implementation of the measures, as well as the operational costs related to the implementation of the measures. The aim of such analysis is to supply an optimized guidance, under the point of view of radiological protection, adequate for different types of environments that are typical of each region of the country. The developed model could easily be applied to other tropical climate countries with diverse economic development status.

***KEYWORDS: nuclear/radiological accidents; decision-making process; multi-criteria analysis; public exposure; countermeasures.***

## Study on the effect of removal of milk consumption for infants and adults after accidents involving radioactive material

Diogo N.G. Silva, Elaine R.R. Rochedo, Maria Angélica V. Wasserman, Luiz F.C. Conti

After the Chernobyl accident in 1986, it was observed that milk had a relevant contribution to ingestion doses after the contamination of rural areas. Three nuclides were very significant for the ingestion exposure for members of the public after this accident: (i)  $^{131}\text{I}$ , which had great significance in the initial phase and considered responsible for the cases of thyroid cancer seen in children living at the contaminated areas of Ukraine, Russia and Belarus; and (ii)  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ , considered as relevant radionuclides contributing also to long-term doses to the public. Although this accident led to an extensive knowledge on the environmental behavior of these radionuclides, there are few studies reporting data for tropical areas. This work aims to assess the contribution of these three radionuclides to the dose due to milk ingested by babies and adults, and to evaluate the effect of milk removal from consumption as a countermeasure to reduce public exposure, as a function of the season of the year when the accident occurs and on the time after the deposition when the removal from diet is implemented. The effects on reducing exposures were assessed for short, medium and long term doses considering the deposition of  $1 \text{ kBq/m}^2$  of each radionuclide individually. The results show that this countermeasure leads to a larger percent dose reduction, despite the significant effect of seasonality. Regarding the  $^{131}\text{I}$ , the countermeasure is to be seen as urgent and should be implemented shortly after deposition to be effective.





**PRINCIPAIS PARÂMETROS RELATIVOS À  
MODELAGEM AMBIENTAL UTILIZADOS  
NAS SIMULAÇÕES**



## 1. PARÂMETROS RELATIVOS ÀS ÁREAS URBANAS

### 1.1 Deposição relativa à deposição em uma superfície plana horizontal gramada

<i>Superfície</i>	<i>Deposição relativa</i>
TELHADO	0,75
PAREDES	0,1
PRÉDIOS VIZINHOS	0,1
ÁREA PAVIMENTADA	0,3
ÁRVORE	5
GRAMADO	1
INTERIOR	0,01

### 1.2 Perdas devido ao intemperismo

A fração da contaminação inicial retida em uma determinada superfície S após o tempo t é descrita por:

$$Y_S(t) = a e^{-bt} + c e^{-dt}$$

Os valores dos parâmetros para cada superfície considerada na simulação são:

<i>Superfície</i>	<i>a</i>	<i>b (a<sup>-1</sup>)</i>	<i>c</i>	<i>d (a<sup>-1</sup>)</i>
TELHADO	0,7	6	0,3	0,1
PAREDES	0,7	0,7	0,3	0,1
PRÉDIOS VIZINHOS	0,7	0,7	0,3	0,1
ÁREA PAVIMENTADA	0,7	0,7	0,3	0,1
ÁRVORE	0,9	18	0,1	3,2
GRAMADO	0,5	0,4	0,5	0,1
INTERIOR	0,9	36	0,1	0,7

### 1.3 Blindagem e estanqueidade relativo ao ar externo para os ambientes simulados

<i>Ambiente</i>	<i>Blindagem</i>	<i>Filtração do ar externo</i>
Casa 1	0,7	0,7
Casa 2	0,7	0,7
Casa 3	0,7	0,7
Casa 4	0,3	0,7
Casa 5	0,5	0,7

**1.4 Kerma no ar nos ambientes simulados devido à atividade depositada nas superfícies (pGy/gama/mm<sup>2</sup>)**

<b>Ambiente urbano</b>		<b>Energia (Mev)</b>		
		<b>0,3</b>	<b>0,662</b>	<b>3</b>
<b>&gt; CASA 1</b>	Interior		*madeira	
TELHADO		34	79	270
PAREDE		68	154	515
GRAMADO		143	334	1320
INTERIOR		10	20	50
<b>&gt; CASA 2</b>	Interior		*tijolo simples	
TELHADO		2	11	97
PAREDE		56	136	469
GRAMADO		123	339	1463
INTERIOR		10	20	50
<b>&gt; CASA 3</b>	Interior		* tijolo com acabamento parcial	
TELHADO		2	10	87
PAREDE		41	107	404
GRAMADO		85	249	1214
INTERIOR		10	20	50
<b>&gt; CASA 4</b>	Interior		*tijolo com acabamento duplo	
TELHADO		2	9	84
PAREDE		29	83	349
GRAMADO		57	184	1016
INTERIOR		10	20	50
<b>&gt; CASA 5</b>	Interior		*casa alemã	
TELHADO		0,6	4	56
PAREDE		13	35	190
GRAMADO		27	77	510
INTERIOR		10	20	50
<b>&gt; PARQUE</b>	Exterior			
ÁRVORE		50	100	325
GRAMADO		310	700	2300
<b>&gt; RUA 1</b>	Exterior			
ÁREA PAVIMENTADA		228	500	1660
PREDIOS VIZINHOS		18	30	82
ÁRVORE		38	80	260

## 2. PARÂMETROS RELATIVOS ÀS ÁREAS RURAIS

### 2.1 *Produtos de origem vegetal*

#### 2.1-1 Tempo de crescimento da parte comestível dos vegetais

<b><i>Vegetal</i></b>	<b><i>Tempo de crescimento (dias)</i></b>
Hortaliça Tuberosa	90
Hortaliça Leguminosa	90
Hortaliça Folhosa	60
Hortaliça Frutosa	90
Cereal	120
Fruta	90
Pasto	30

#### 2.1-2 Períodos de cultivo dos alimentos

<b><i>Vegetal</i></b>	<b><i>Plantio</i></b>	<b><i>Colheita</i></b>
Hortaliça Tuberosa	1/jan	31/jan
	1/abr	1/set
	1/dez	31/dez
Hortaliça Leguminosa	1/jan	31/jan
	1/abr	30/jun
Hortaliça Folhosa	1/nov	31/dez
	1/jan	31/dez
Hortaliça Frutosa	1/jan	28/fev
	1/set	31/dez
Cereal	1/jan	30/jun
	1/dez	31/dez
Fruta	1/jan	28/fev
	1/set	31/dez
Pasto	1/jan	31/dez

### 2.1-3 Deposição foliar

<i>Vegetal</i>	<i>Deposição foliar máxima relativa a solo</i>
Hortaliça Tuberosa	6
Hortaliça Leguminosa	4
Hortaliça Folhosa	5
Hortaliça Frutosa	5
Cereal	5
Fruta	17
Pasto	5

### 2.1-4 Fator de transferência

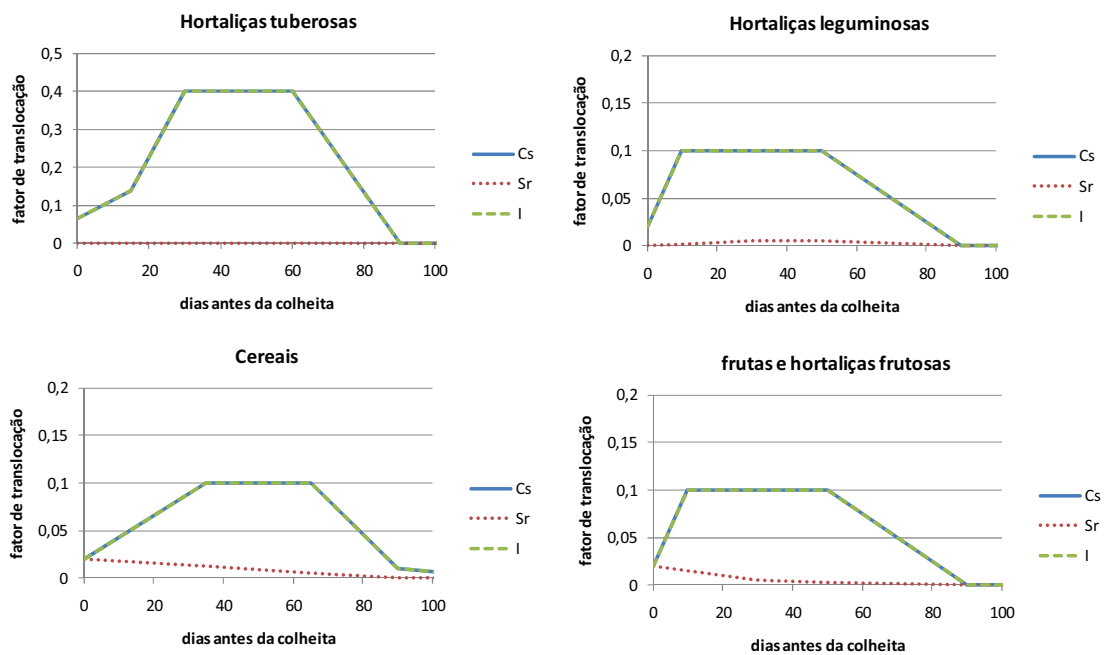
<i>Fator de transferência solo-planta</i>	<i>Cs</i>	<i>Sr</i>	<i>I</i>
Hortaliça Tuberosa	0,25	0,01	0,1
Hortaliça Leguminosa	0,33	0,58	0,1
Hortaliça Folhosa	0,06	0,04	0,1
Hortaliça Frutosa	0,7	0,1	0,1
Cereal	0,12	0,18	0,1
Fruta	0,2	0,02	0,1
Pasto	0,05	0,5	0,1

### 2.1-5 Produtividade agrícola

<i>Produtividade</i>	<i>(kg/m<sup>2</sup>)</i>
Hortaliça Tuberosa	1
Hortaliça Leguminosa	0,1
Hortaliça Folhosa	3
Hortaliça Frutosa	2
Cereal	0,5
Fruta	2
Pasto	1,5

## 2.1-6 Translocação

<i>Vegetal</i>	<i>Fator de Translocação</i>
Hortaliça Tuberosa	Fig. 1
Hortaliça Leguminosa	Fig.1
Hortaliça Folhosa	não tem
Hortaliça Frutosa	Fig.1
Cereal	Fig.1
Fruta	Fig.1
Pasto	não tem



**Figura 1. Curvas de Fatores de translocação usadas no SIEM**



## 2.1-7 Outras informações

<b><i>Outros parâmetros e considerações</i></b>	<b><i>Valor</i></b>
Período de estocagem de alimentos e pasto	Não há
Tempo de equilíbrio solo-planta	100 dias
Densidade superficial do solo	350 m <sup>2</sup> /kg (20 cm) 140 m <sup>2</sup> /kg (pasto)
Meia-vida: perda de deposição foliar por intemperismo	25 dias 14 dias (hortaliças folhosas)
Contribuição de ressuspensão	0,1%

## 2.2 Parâmetros relativos a produtos de origem animal

### 2.2-1 Dieta dos animais

<b><i>Animal</i></b>	<b><i>Alimento</i></b>	<b><i>Frequência</i></b>
gado bovino	pasto fresco	365 dias por ano
frango	milho	365 dias por ano

### 2.2-2 Fator de transferência

<b><i>Produto</i></b>	<b><i>Cs</i></b>	<b><i>Sr</i></b>	<b><i>I</i></b>	<b><i>Unidade</i></b>
leite	0,003	0,002	0,003	d/L
carne de boi	0,01	0,003	0,001	d/kg
carne de frango	1,5	0,4	0,01	d/kg

