



AVALIAÇÃO DO PERFIL DOS RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE DE BELO
HORIZONTE QUANTO À PRESENÇA DE REJEITOS RADIOATIVOS NA
DESTINAÇÃO FINAL

ADIRSON MONTEIRO DE CASTRO

Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de Mestre em
Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e
Materiais.

Orientadora:

Clédola Cássia Oliveira de Tello

Co-orientadora:

Noil Amorim de Menezes Cussioli

BELO HORIZONTE
2005

Comissão Nacional de Energia Nuclear
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
**Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia das
Radiações, Minerais e Materiais.**

**AVALIAÇÃO DO PERFIL DOS RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE DE BELO
HORIZONTE QUANTO À PRESENÇA DE REJEITOS RADIOATIVOS NA
DESTINAÇÃO FINAL**

Adirson Monteiro de Castro

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais, como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Aplicações de Técnicas Nucleares

Orientadora: Clédola Cássia Oliveira de Tello

Co-Orientadora: Noil Amorim de Menezes Cussiol

Belo Horizonte
2005

Adirson Monteiro de Castro

**AVALIAÇÃO DO PERFIL DOS RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE DE BELO
HORIZONTE QUANTO À PRESENÇA DE REJEITOS RADIOATIVOS NA
DESTINAÇÃO FINAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais.

Área de Concentração: Aplicações de Técnicas Nucleares

Aprovada em:

Por:

DEDICATÓRIA

À minha querida mãe Haidê Saraiva Monteiro, mulher de uma têmpera raras vezes vista, exemplo de dedicação e trabalho diuturno e silencioso, pessoa a quem por mais que eu agradeça, será sempre pouco.

Ao meu há muito falecido pai que sonhou, mas não viveu o bastante para ver o encaminhamento dos três filhos.

Aos meus dois modelares irmãos, João e Eugênio, suportes e referências constantes para mim, que mesmo quando distantes estão permanentemente muito próximos.

A Regina, Larissa, Lucas e Eugênio que fazem minha vida e meu dia a dia transcenderem a mim em alegria e na certeza de que a vida vale muito a pena.

AGRADECIMENTOS

À vida que tudo permite e tudo cobra;

Aos meus pais pela estrutura genética e pelo alicerce ético, moral e de trabalho que me legaram;

Aos meus irmãos, meus amigos. Ao João pelo estímulo e pelas sugestões e correções nesta dissertação.

A Eugênio, meu companheiro do dia a dia. Essencial;

A Regina, minha companheira. Exemplo de mulher capaz de mudar, crescer e se superar;

Aos meus filhos Larissa e Lucas, por existirem e poderem partilhar de minhas alegrias e realizações;

Aos meus mestres de todos os tempos. Lembro sempre do Professor Guilherme, do Durval e do Dr. Javert;

A Cássia, minha orientadora e amiga. Ser humano maravilhoso, que tornou possível concluir esta dissertação com sucesso, trabalhando muito, mas com alegria e espírito de confraternização;

A Noil, minha co-orientadora, dona da idéia que gerou o tema da dissertação, pelo apoio e pelos ensinamentos sempre pertinentes;

A Fernando Lameiras, a Silvestre Paiano e a Sérgio Filgueiras, que desde há muitos anos, abriram o CDTN para a radiologia mineira, permitindo um intercâmbio científico que tem gerado muitos frutos;

A José Olympio Monteiro de Castro e a Elton Gomes pelas cartas de apresentação necessárias à inscrição no mestrado;

Aos diretores da UNIVAÇO Jussara Esteves, José Carlos, Carlos Haroldo Piancastelli e José Geraldo Mercante pelo apoio;

Ao colega e amigo Amilcar Mosci, que trabalhou em dobro por algum tempo, viabilizando minha frequência, sem faltas, às aulas da pós-graduação;

Aos colegas do IPSEMG, principalmente ao amigo Roberto Pimentel Dias pelo apoio e liberação de tarefas para que eu pudesse participar de atividades do mestrado;

À equipe da Ecograph e principalmente aos colegas e amigos Carla Lima e Cristiano Ferrari, colaboradores essenciais em todas as fases da pesquisa, sem os quais o trabalho de campo não teria sido possível;

À amiga e colega Paula Vidigal pelo apoio, ensinamentos e sugestões;

A toda a equipe do CDTN. Impossível citar todos os nomes. Alguns participaram em todas as fases do trabalho. Outros em uma só atividade, mas todos imprescindíveis. O professor Teógenes Augusto da Silva esteve sempre presente, viabilizando equipamentos, ensinando e dando idéias, algumas partes integrantes do trabalho final. O Carlos Manuel, o Annibal e o Bruno que me ensinaram a utilizar os detectores de radiação. O Rogério Mourão, que além de emprestar e calibrar os equipamentos para a pesquisa de campo, foi um consultor para todas as dúvidas. A equipe da biblioteca: Lenira, Nívea e Virgínia, funcionárias sempre disponíveis e competentes. A todos os companheiros do setor de rejeitos nas pessoas da Graça, Eliane, Murilo, Fábio, Paulo e Adair. Aos colegas e amigos Leonardo, Sandro e Débora, sempre presentes e colaborando, inclusive nas medidas de campo. A Sibebe e demais colegas de turma do mestrado, pela amizade solidariiedade e cooperação;

Aos funcionários da Superintendência Municipal de Limpeza Urbana, nas pessoas do Vicente, da Pegge e da Viviane.

À toda equipe da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos, essencial para a realização de todas as atividades de campo. Ao Heuder pelo apoio, orientações e ensinamentos. A Adriana pela ajuda nas atividades de medição. A Bernadete pela colaboração, inclusive empréstimo de equipamentos. À turma da frente de aterro, na pessoa do inesquecível Dinamite;

À Professora Marta de Freitas do Departamento de Estatística da UFMG, pelas orientações e embasamentos estatísticos;

A Silvana Alvim da CAVO de São Paulo, pelas informações e dados iniciais que culminaram nesta dissertação;

À Marina pela solidariedade e eficiência na redação do texto final e correções nos gráficos e tabelas;

A todos os amigos e companheiros aqui não nomeados, não por falta de reconhecimento, mas pelas limitações da memória, o meu muito obrigado.

P - Aprende com quem? Quem é bom mestre?

R - Mestre não é quem sempre ensina, mas quem de repente aprende.

Mire veja: o mais importante e bonito do mundo, é isso: que as pessoas não estão sempre iguais, ainda não foram terminadas - mas que elas vão sempre mudando. Isso me agrada, montão.

Entrevista: Riobaldo Tatarana

(Personagem narrador do livro Grande Sertão:Veredas de João Guimarães Rosa)

Entrevistador imaginário: Roberto Pompeu de Toledo

Modificado de:

Ensaio de Roberto Pompeu de Toledo. (Revista VEJA, 24 de maio. 2000. Ed. 1.650).

AVALIAÇÃO DO PERFIL DOS RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE DE BELO HORIZONTE QUANTO À PRESENÇA DE REJEITOS RADIOATIVOS NA DESTINAÇÃO FINAL

Adirson Monteiro de Castro

RESUMO

Os procedimentos médicos de diagnóstico e tratamento que utilizam radiofármacos geram rejeitos radioativos que, após decaírem até o limite de eliminação, podem ser destinados pelas vias convencionais de coleta e disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos – RSU. O objetivo da pesquisa foi detectar radiometricamente a presença de rejeitos radioativos nos resíduos de serviços de saúde destinados à disposição final. Ressalta-se que o limite legal de eliminação para rejeitos sólidos estabelecido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN é de $7,5 \times 10^4$ Bq/kg ($2 \mu\text{Ci/kg}$).

As medições foram feitas no conteúdo de 25 caminhões da coleta especial de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS), no aterro sanitário de Belo Horizonte, utilizando-se um cintilômetro de iodeto de sódio. Em 60% dos casos foram encontrados valores acima do limite estabelecido. A análise espectral de 6 amostras revelou a presença do radionuclídeo tecnécio-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$), em 5 delas, e de iodo-131 (^{131}I), em um caso. Estes elementos, tecnécio-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) e iodo-131 (^{131}I), são os mais utilizados em procedimentos de Medicina Nuclear.

Conclui-se que está havendo liberação de rejeito radioativo com os de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS), devido a inobservância do tempo de decaimento até obtenção dos níveis legalmente permitidos para liberação.

EVALUATION OF THE WASTE PROFILE FROM (MEDICAL) HEALTH SERVICES OF BELO HORIZONTE CONCERNED TO THE PRESENCE OF RADIOACTIVE WASTES IN THE DISPOSAL SYSTEM

Adirson Monteiro de Castro

ABSTRACT

The medical procedures of diagnosis and treatment that use radiopharmaceuticals generate radioactive wastes that can, after reaching the release limit, follow the conventional ways of collection and disposal of the urban solid wastes. This research aims to detect radiometrically the presence of radioactive wastes in the health-care wastes at the final disposal. It is pointed out that the legal limit for the release of solid wastes established by Brazilian National Commission of Nuclear Energy (CNEN) is $7,5 \times 10^4$ Bq/kg (2 μ Ci/kg).

Measurements in the material of the garbage trucks that make the special collect from Health Service installations are performed, at Belo Horizonte sanitary landfill, using a NaI scintillation counter. Values above the established limit were found in 60% of the cases. The spectral analysis of 6 samples showed the presence of ^{99m}Tc in 5 of them and ^{131}I in one. These radionuclides are the most common radionuclides used in Nuclear Medicine.

In conclusion there are radioactive wastes released together with the health service wastes, due to the disregard of the decay time until the legal limit is achieved.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Gamagrafia industrial de uma tubulação	19
Figura 02 - Resultado radiológico de uma gamagrafia de um tubo metálico	19
Figura 03 - Esquema de um irradiador de alimentos	21
Figura 04 - Localização de formigueiro utilizando radionuclídeos	22
Figura 05 - Equipamento de raios X	23
Figura 06 - Radiografia de um braço	23
Figura 07 - Equipamento de tomografia computadorizada	24
Figura 08 - Tomografia de crânio mostrando calcificações	24
Figura 09 - Gerador de tecnécio-99m	28
Figura 10 - Fórmula química de um radiofármaco contendo tecnécio-99m.....	29
Figura 11 - Exemplo de uma cintilografia óssea com tecnécio-99m	29
Figura 12 - Sala de exames radiológicos	34
Figura 13 - Esquema de funcionamento da câmara de ionização	35
Figura 14 - Esquema de funcionamento do contador Geiger-Müller	36
Figura 15 - Detectores Geiger-Müller	36
Figura 16 - Esquema do detector por cintilação	37
Figura 17 - Modelos de cintilômetros	38
Figura 18 - Espectro do ^{99m}Tc	38
Figura 19 - Fluxograma típico para a Gerência de Rejeitos Radioativos	44
Figura 20 - Exemplo de embalado exceptivo	47
Figura 21 - Exemplo de embalado Tipo A	47
Figura 22 - Instalação de Armazenamento de RR de baixo nível de radiação	48
Figura 23 - Fluxograma básico de gerência de rejeitos radioativos	59
Figura 24 - Vista geral da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte – CTRS BR-040	66
Figura 25 - Sistema de balanças com veículo transportador de RSS no momento da pesagem	66
Figura 26 - Descarga de RSS no aterro sanitário	68
Figura 27 - Caminhão e furgão coletores de RSS	68
Figura 28 - Roteiros de coleta de RSS do município de Belo Horizonte	69
Figura 29 - Frente de Aterro	70

Figura 30 - Cintilômetro SPP-2 na embalagem e em operação	71
Figura 31 - NanoSPEC conectado ao computador e mostrando o espectro do ^{237}Cs	72
Figura 32 - Resíduo de Serviço de Saúde Simulado (<i>Fantoma</i>)	73
Figura 33 - Caminhão despejando RSS no aterro sanitário	76
Figura 34 - RSS quarteado pronto para a medição	76
Figura 35 - Medição de varredura e detalhe das contagens	77
Figura 36 - Utilização do nanoSPEC na identificação de um espectro de $^{99\text{m}}\text{Tc}$	77
Figura 37 - Pico padrão experimental do iodo-131	78
Figura 38 - Pico padrão experimental do tecnécio-99m	78
Figura 39 - Pico padrão experimental do tecnécio-99m, calibrado	79
Figura 40 - Resultados das medidas para a calibração do <i>fantoma</i> com $^{99\text{m}}\text{Tc}$ realizadas com o cintilômetro SPP- 2 nas diversas alturas	81
Figura 41 - Detalhe dos resultados das medidas para a calibração do <i>fantoma</i> com $^{99\text{m}}\text{Tc}$ na faixa de liberação como Resíduo de Serviço de Saúde	81
Figura 42 - Resultados de todas as medidas para a calibração do <i>fantoma</i> com ^{131}I realizadas com o cintilômetro SPP-2 nas diversas alturas	82
Figura 43 - Detalhe dos resultados das medidas para a calibração do <i>fantoma</i> com ^{131}I na faixa de liberação como Resíduo de Serviço de Saúde	83
Figura 44 - Cópia de comprovante de entrada de um caminhão no sistema de balanças da CTRS BR-040 em 7 de junho de 2004	85
Figura 45 - Croqui mostrando o resultado do quarteamento e as contagens obtidas em cada segmento avaliado	86
Figura 46 - Pico de Iodo-131 encontrado em amostra de RSS no aterro sanitário	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Principais características dos radionuclídeos usados em Medicina Nuclear	27
Tabela 02 - Composição gravimétrica dos RSS de diferentes estabelecimentos geradores da Cidade de São Carlos/São Paulo	40
Tabela 03 – Composição gravimétrica da fração sólida dos RSS do Hospital Celso Ramos	40
Tabela 04 - Embalados de acordo com o material radioativo a ser transportado	46
Tabela 05 - Número de possíveis geradores de RRSS por roteiro estabelecido pela SMLU	69
Tabela 06 - Composição gravimétrica do <i>fantoma</i> elaborado no CDTN	74
Tabela 07 – Resultados obtidos (cps) na medição em diversos pontos do <i>fantoma</i> contendo tecnécio-99m	80
Tabela 08 - Resultados obtidos (cps) na medição em diversos pontos do <i>fantoma</i> contendo iodo-131	82
Tabela 09 - Medidas de radiação de fundo em diversos locais de Belo Horizonte	84
Tabela 10 – Resultados das medidas realizadas no aterro sanitário de Belo Horizonte	87
Tabela 11 – Resumo das medidas realizadas no centro de tratamento e disposição final de resíduos sólidos de Belo Horizonte	88
Tabela 12 - Faixas para liberação de rejeitos radioativos	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIEA - Agência Internacional de Energia Atômica (ver IAEA)
ALARA - As Low As Reasonably Achievable
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental
EPA - Environmental Protection Agency
EPI - Equipamento de Proteção Individual
GRR - Gerência de Rejeitos Radioativos
GRRSS - Gerenciamento de Rejeitos Radioativos de Serviços de Saúde
HSVP – Hospital São Vicente de Paula
IAEA – International Atomic Energy Agency – Agência Internacional de Energia Atômica
ICRP – International Commission on Radiological Protection
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INE - Instituto Nacional de Ecologia
IPT - Instituto de Pesquisa Tecnológica
NBR - Norma Brasileira Regulamentadora
NR - Norma Regulamentadora
OMS - Organização Mundial de Saúde
PBH – Prefeitura de Belo Horizonte
PR - Plano de Radioproteção
PGRR - Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos
RR - Rejeito radioativo
RRSS - Rejeito Radioativo de Serviço de Saúde
RS - Resíduos Sólidos
RSS - Resíduos de Serviços de Saúde
SMLU - Superintendência Municipal de Limpeza Urbana
SS - Serviços de Saúde
USS - Unidades de Serviços de Saúde

SUMÁRIO

FOLHA DE APROVAÇÃO	2
DEDICATÓRIA	3
AGRADECIMENTOS	4
EPÍGRAFE	6
RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	9
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Aplicações da Energia Nuclear	18
2.1.1 Aplicações na indústria.....	18
2.1.2 Aplicação na agricultura e meio ambiente	20
2.1.3 Aplicações médicas	22
2.1.3.1 Principais radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear	26
2.2 Princípios Básicos de Radioproteção	30
2.2.1 Tipos de radiação.....	30
2.2.2 Riscos na manipulação das fontes (contaminação e irradiação).....	31
2.2.3 Fatores de redução das doses.....	32
2.2.3.1 Tempo.....	32
2.2.3.2 Distância.....	33
2.2.3.3 Blindagem.....	33
2.3 Detectores de radiação.....	34
2.3.1 Câmara de ionização.....	35
2.3.2 Contador Geiger-Müller	35
2.3.3 Detectores por cintilação	36
2.4 Resíduos de Serviços de Saúde	39
2.5 Gerência de Rejeitos Radioativos.....	42
2.5.1 Rejeitos radioativos	42
2.5.2 Fundamentos da Gerência de Rejeitos Radioativos	42
2.5.3 Etapas principais da Gerência de Rejeitos Radioativos	43
2.5.3.1 Segregação e coleta	45
2.5.3.2 Tratamento e condicionamento	45
2.5.3.3 Transporte.....	45
2.5.3.4 Armazenamentos	47
2.5.3.5 Deposição	48
2.5.3.6 Registros.....	49
2.6 Legislação e Normalização.....	49
2.6.1 Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA.....	49

2.6.2	Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN	50
2.6.3	Normalização municipal.....	52
2.6.4	Associação Brasileira de Normas Técnicas.....	53
2.6.5	Legislação federal de saúde e ambiental	54
2.6.6	Legislação francesa	55
2.7	Gerenciamento de Rejeitos Radioativos dos Serviços de Saúde – GRRSS	55
2.7.1	Limites para liberação de rejeitos radioativos	59
2.8	Disposição final dos resíduos de serviço de saúde.....	60
2.9	Estudos teórico-experimentais já realizados	61
3.	METODOLOGIA.....	65
3.1	Sistema de Coleta e Disposição de RSS da SMLU – Belo Horizonte	65
3.2	Seleção e Calibração dos Equipamentos	70
3.2.1	Confecção do <i>fantoma</i> (Simulador).....	72
3.2.2	Calibração dos equipamentos usando o <i>fantoma</i>	74
3.3	Medidas de Campo	75
3.3.1	Planejamento das medidas.....	75
3.3.2	Medidas no aterro	75
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
5.	CONCLUSÃO.....	90
5.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	93
	REFERÊNCIAS	94
	GLOSSÁRIO	104
	APÊNDICE A	107
	APÊNDICE B	112
	ANEXO A	114
	ANEXO B	120
	ANEXO C	124

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem crescido, juntamente com o desenvolvimento da medicina e da área biomédica, a utilização das radiações ionizantes nestes setores. Exemplos na área de saúde humana e animal são a medicina nuclear com fins terapêuticos e de diagnóstico, tanto “in vivo” quanto “in vitro”, e a radioterapia. Na área da pesquisa médica têm sido desenvolvidos processos clínicos e de aplicações de compostos preparados, como os radiofármacos. Existem também as pesquisas básicas, no campo da biologia, desenvolvidas nas universidades e laboratórios.

A moderna visão de pesquisa é citada pelo Ministro da Pesquisa da França Monsieur Roger-Gerard Schwartzemberg, que em discurso proferido em 15 de outubro de 2001, na inauguração da Festa da Ciência Francesa, colocou (SCHWARTZEMBERG, 2001)

“La science ne peut vivre isolée de la société (...). La science doit aller à la rencontre du public (...). Elle doit être une science proche et conviviale, partagée par l'ensemble de la société. Une science citoyenne.”

A ciência não pode viver isolada da Sociedade (...). A ciência deve ir ao encontro do público (...). Ela deve ser uma ciência próxima e de convivência, repartida por toda a Sociedade. Uma ciência cidadã.

Este trabalho, em consonância com o conceito de ciência cidadã, vem consolidar o esforço empregado pelos cientistas do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN no estabelecimento de uma Gerência de Rejeitos Radioativos - GRR compatível com a filosofia internacional de proteção ao homem e ao meio ambiente, uma vez que o Centro é uma referência nacional nesta área (SILVA e CUSSIOL, 1999).

A premissa fundamental da radioproteção é a justificção, que limita o uso da radiação ionizante somente a situações em que haja um saldo positivo para a Sociedade. Hoje em dia vêem-se claramente os benefícios gerados por estas práticas nos Serviços de Saúde (SS), no que diz respeito à qualidade dos resultados dos diagnósticos e à eficácia das terapias. Entretanto, como em qualquer outra área, esta prática também produz rejeitos radioativos, que devem ser devidamente gerenciados de modo a proteger o homem e o meio ambiente de possíveis efeitos adversos que eles possam causar, tanto no presente como no futuro (ICRP, 1991).

O licenciamento de uma instalação para operar com material radioativo está sujeito à apresentação à Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, entre outros documentos, de um Plano de Radioproteção (PR), contendo um Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos (PGRR), no qual são descritas todas as atividades administrativas e técnicas para garantir que o trabalho com material radioativo seja seguro. Os critérios para a elaboração do PR e do PGRR

para Serviços de Medicina Nuclear são apresentados em normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Com o objetivo de complementar esta normatização e proporcionar orientação básica necessária à implementação de uma gerência segura dos Rejeitos Radioativos gerados em instalações de Serviço de Saúde (SS), o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN publicou o documento “Gerência de Rejeitos Radioativos de Serviços de Saúde” (SILVA e CUSSIOL, 1999), que é a referência nacional na elaboração dos PGRR nas instalações de SS.

Segundo as diretrizes destes documentos as instalações de SS são responsáveis pelo gerenciamento de seus RR dentro de sua própria área. Portanto um eventual transporte e posterior descarte de RR no aterro sanitário, acidental ou por negligência, não são objeto de monitoração, podendo trazer riscos de exposição indevida ao público e trabalhadores. Os riscos de contaminação devem também ser considerados.

A Missão do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear é: “Realizar pesquisa e desenvolvimento, em ciência e tecnologia, nas áreas nuclear e correlatas, gerando conhecimento, produtos e serviços em benefício da sociedade” (CDTN, 2004).

Tendo como norte filosófico este postulado, foi selecionado o tema do trabalho de dissertação com o fulcro no interesse social e cujos resultados serão muito importantes no planejamento estratégico do gerenciamento dos rejeitos radioativos oriundos de clínicas e hospitais. Podem ser também aplicados na reformulação das normas que regem a dinâmica de coleta, transporte e destinação deste tipo de rejeito de uma grande cidade, como Belo Horizonte, onde a probabilidade de presença de material radioativo, acidental ou por negligência, deve ser considerada pelo poder público.

Esta pesquisa pretende preencher a lacuna existente no gerenciamento de rejeitos radioativos de serviços de saúde, que é a falta de dados sobre os resíduos que saem das instalações, que utilizam radioisótopos, e são transportados para o aterro sanitário, muitas vezes sem um armazenamento para decaimento, conforme preconiza a Norma CNEN-NE-6.05 (CDTN, 1985). Além de um estudo do material egresso, faz-se necessário também o estabelecimento de procedimentos para avaliação dos Rejeitos Radioativos de Serviços de Saúde (RRSS) que adentram no aterro sanitário, pois a falta de informação sobre estes, permite o transporte e disposição de todo material sem mecanismos de controle, com riscos de exposição do público e de funcionários e mesmo contaminação do meio ambiente.

Pretende-se identificar se o problema existe em Belo Horizonte, quantificá-lo se presente, e sugerir uma metodologia que assegure o cumprimento da norma específica e que previna os riscos ambientais, profissionais e de imagem da ciência nuclear perante o público e autoridades.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aplicações da Energia Nuclear

O imaginário popular sempre relaciona energia nuclear com bomba atômica ou com os acidentes em instalações nucleares, acreditando que quase todas sejam produtoras de artefatos bélicos. Os nomes Hiroshima, Nagasaki e Chernobil são largamente conhecidos em todo o planeta. Os ecologistas referem-se às Centrais Nucleares apenas considerando possíveis efeitos adversos, sem dar ênfase alguma na produtividade limpa, utilidade e competitividade desta forma de energia.

Este trabalho abordará as aplicações pacíficas de elementos radioativos e focará os usos sociais da energia nuclear, com ênfase na utilização de radiofármacos com finalidades diagnósticas e terapêuticas em serviços de saúde.

Cardoso e Alves (2004) dividem as aplicações sociais da energia nuclear em 3 grandes grupos:

- Indústria;
- Agricultura e Meio Ambiente; e
- Medicina.⁴⁰

2.1.1 Aplicações na indústria

A irradiação, uma das várias aplicações da energia nuclear na indústria, é uma técnica na qual os materiais são expostos a fontes radioativas, buscando um resultado não encontrado com uso de técnicas convencionais. A radioesterilização consiste na irradiação de produtos que necessitam ser esterilizados, como fios de sutura, luvas, gases, próteses ortopédicas e válvulas cardíacas para uso em cirurgias, além de produtos sanguíneos e tecidos para transplantes. Esta aplicação cresce a cada dia vencendo resistências iniciais, frutos da desinformação. Um sistema típico de esterilização, por exemplo, possui uma fonte de cobalto-60 com capacidade da ordem de 3 milhões de curies. Os produtos, já embalados são levados em esteiras (para a respectiva sala) e irradiados. Com esta técnica não há resíduo de radiação no produto, nem necessidade de quarentena para utilização.

A irradiação de gemas e cristais tem como objetivo mudar e/ou intensificar sua cor natural com incremento do seu valor no mercado internacional, gerando mais divisas para o país.

Na radiografia industrial (gamagrafia) são utilizados os raios X ou raios gama de um nuclídeo radioativo, como o cobalto-60. Com a realização de gamagrafias são identificados

defeitos e fraturas em soldagem e tubos (FIG. 1 e 2). Esta é a técnica utilizada no controle de qualidade das soldagens realizadas em construção de gasodutos (HI-TECH TESTING, 2004).



FIGURA 1 – Gamagrafia industrial de uma tubulação (HI-TECH TESTING, 2004).

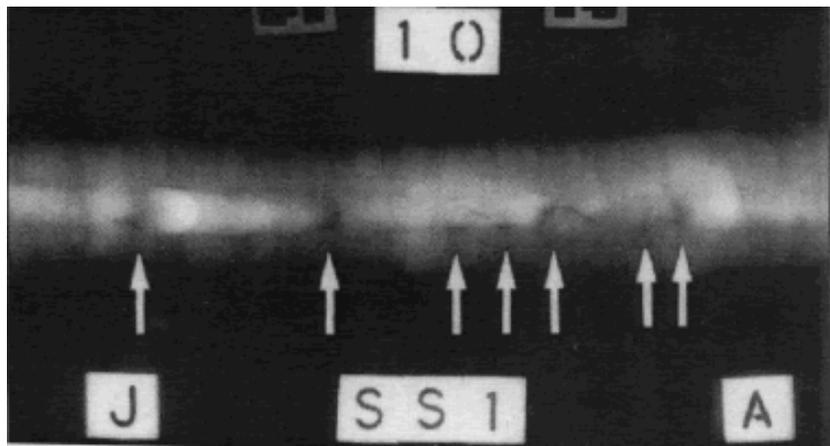


FIGURA 2 – Resultado radiológico de uma gamagrafia de um tubo metálico. As setas sinalizam falhas na soldagem. (BRISTOL UNIVERSITY, 2004)

Fugas em tubulações enterradas ou submersas são detectadas introduzindo-se traçadores radioativos no sistema. Detectores portáteis podem, então, localizar áreas radioativas que indicam pontos de fuga. São utilizados radioisótopos beta-emissores como o irídio-192 ou tecnécio-99 em sistemas de esgotos para determinar a dispersão de dejetos em emissários oceânicos (MÖLLER, 2004).

Os medidores de níveis são constituídos de uma fonte radioativa e um detector. Fontes radioativas (cobalto-60, céσιο-137 ou rádio-226) são utilizadas para monitorar o nível de grandes

tanques de derivados de petróleo e também para verificar desgaste e fadiga em altos-fornos. O material a ser medido é colocado entre a fonte e um detector de radiação. Como a quantidade do material, portanto, nível ou espessura do material, absorve mais ou menos radiação, a medida da radiação pode ser relacionada ao nível do conteúdo ou espessura.

O método de datação por carbono-14 foi colocado em prática em 1950, tornando-se a principal ferramenta para a determinação cronológica de episódios originados a aproximadamente 40.000 ou 50.000 anos passados, nas áreas de arqueologia, geologia, paleobotânica, paleoclimatologia, dentre outras (MÖLLER, 2004).

Este tem por base a contínua produção do carbono radioativo (carbono-14) na alta atmosfera, pela interação de nêutrons cósmicos com átomos de nitrogênio, na qual o carbono-14 é oxidado a $^{14}\text{CO}_2$ e entra no ciclo global do carbono. As plantas assimilam carbono-14 durante a fotossíntese e estas são ingeridas pelos animais. Assim, todos os seres terrestres vivos mantêm sua entrada de carbono-14 durante a vida. Na morte das plantas e animais cessa a entrada de carbono-14. O tempo de morte pode ser estabelecido pela determinação do carbono-14 residual. O carbono-14 decai com meia-vida de 5.730 anos a nitrogênio-14 (MÖLLER, 2004).

2.1.2 *Aplicação na agricultura e meio ambiente*

A tecnologia de irradiação de alimentos é aprovada pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação e utilizada em 37 países como método eficaz para melhorar a qualidade de produtos alimentícios. Este processo utiliza raios gama ou feixe de elétrons, aumentando o tempo de conservação dos alimentos, evitando perdas e contaminação por germes causadores de doenças. Na FIG. 3 é mostrado o esquema de um irradiador de alimentos (LADEIRA, 1999).

O acompanhamento com traçadores radioativos permite estudar o metabolismo de plantas e o comportamento de insetos. A marcação de insetos com radioisótopos é útil na eliminação de pragas, com identificação de predadores que se alimentam de determinados insetos indesejáveis. Com isso podem ser empregadas técnicas ecológicas para eliminação de pragas por meio de predadores naturais, sem o uso de inseticidas químicos nocivos à saúde.

Outra forma de eliminar pragas é esterilizar machos com radiação gama e depois libertá-los para competirem com os machos saudáveis, reduzindo a população da espécie.

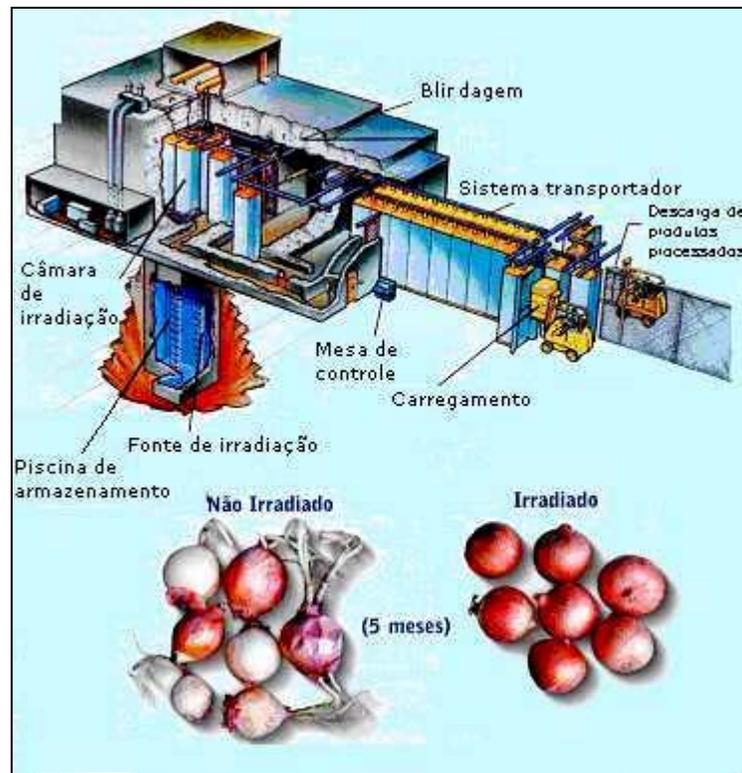


FIGURA 3 – Esquema de um irradiador de alimentos (LADEIRA, 1999).

A marcação de insetos como formigas e abelhas permite estudar seu raio de ação e comportamento. Na FIG. 4 há uma ilustração de como se descobre o formigueiro através de formigas marcadas com radioisótopos. A marcação de abelhas pode indicar até as flores de sua preferência. Pragas de frutos cítricos também têm sido controladas com radioisótopos marcados com fósforo-32 (USP, 2004).

Estudos qualitativos e quantitativos da presença de agrotóxicos na água, solo e atmosfera também podem ser feitos utilizando traçadores radioativos. Uma planta que absorveu um traçador radioativo pode ser “radiografada”, permitindo localizar e estudar seu metabolismo.

O estudo da distribuição e renovação de recursos hídricos, da física e química de solos, datação de superfícies, de sedimentos marinhos, de árvores e de sítios arqueológicos também são exemplos da aplicação ambiental da radioatividade (CNEN, 2004).

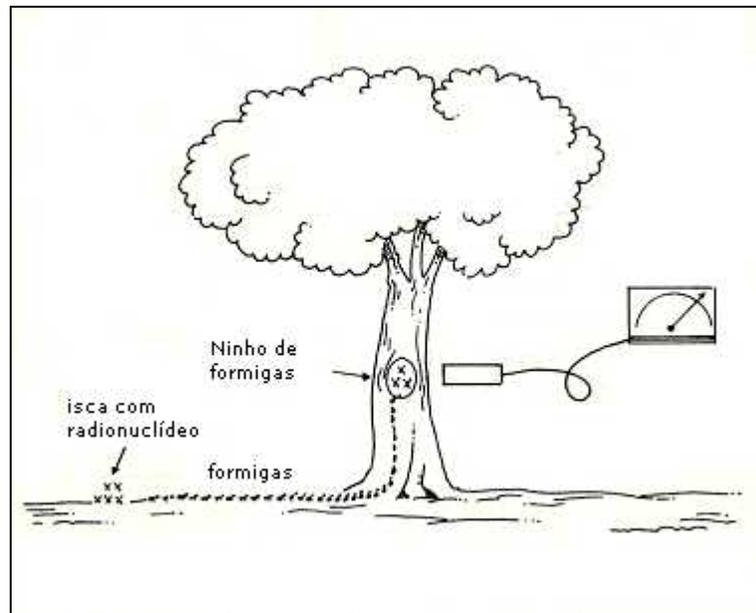


FIGURA 4 – Localização de um formigueiro utilizando-se marcação das formigas com radionúclídeos (WALDER, 1987).

2.1.3 Aplicações Médicas

O interior do corpo humano vivo era quase um mistério para a ciência até que em 1895 o físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen descobriu uma nova espécie de energia que ultrapassava materiais de baixo peso molecular, como a madeira, e era barrado por substâncias de alto número atômico, como o chumbo. Os raios X, como foram denominados, mudaram a história da medicina e da biologia, pois logo nos primeiros meses da descoberta foram feitas radiografias de extremidades que permitiam mostrar os ossos. Nascia a Radiologia, especialidade médica que tem crescido continuamente e que hoje estuda com eficácia todos os sistemas humanos, permitindo fazer diagnósticos e tratamentos que salvam ou prolongam milhões de vida em todo o mundo. Mesmo com a evolução constante da ciência médica a radiografia, com mais de 100 anos de idade, é um procedimento de rotina para identificar fratura, artrose, pneumonia, insuficiência cardíaca, desvio da coluna e tumores diversos, dentre outras inúmeras aplicações. Mostra-se na FIG. 5 um equipamento de raios X e na FIG. 6 uma radiografia de braço mostrando uma fratura do osso rádio (VMI, 2005).

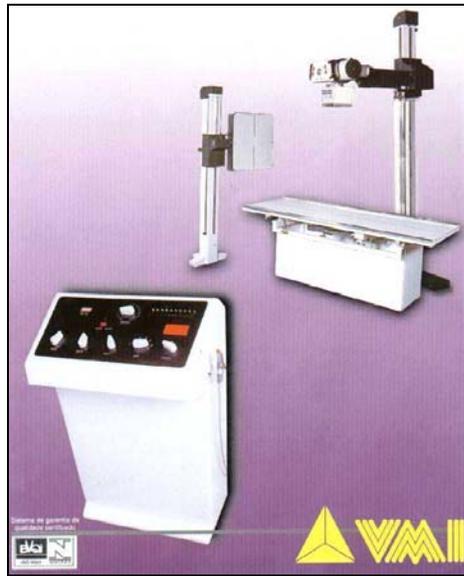


FIGURA 5 – Equipamento de raios X (VMI, 2005)



FIGURA 6 – Radiografias de um braço mostrando uma fratura do osso rádio

A tomografia computadorizada, desenvolvida em 1972, utiliza um tubo de raios X, acoplado a um detector, que gira em torno do paciente, identificando a atenuação dos raios que passam pelo corpo e envia estes dados a um computador que transforma as informações recebidas em imagens de altíssima resolução. Na FIG. 7 mostra-se um equipamento de tomografia computadorizada.



FIGURA 7 – Equipamento de tomografia computadorizada (HSVPMFA, 2005).

Este novo método permitiu estudar o cérebro e a medula espinhal, locais onde as imagens radiológicas convencionais eram pouco diagnósticas. Na FIG. 8 é apresentada uma tomografia de crânio.

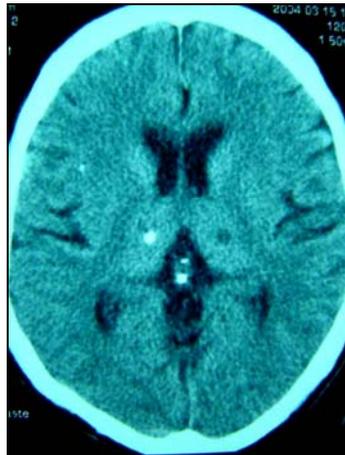


FIGURA 8 – Tomografia de crânio mostrando calcificações (Pequenas imagens brancas arredondadas).

O descobridor dos raios X, Roentgen, e os criadores da tomografia computadorizada, Housfield e Cormack, ganharam os prêmios Nobel de 1901 e 1979, respectivamente (EISENBERG, 1992).

Nas aplicações da Energia Nuclear para fins terapêuticos e de diagnóstico utilizam-se energias geradas por equipamentos elétricos, como os aparelhos de raios X, e também fontes radioativas abertas ou seladas.

Fonte selada é aquela em que o elemento radioativo está inserido num invólucro especial, usualmente blindagem de chumbo, que o impede de contaminar o meio ambiente. Exemplos são as cápsulas de céσιο utilizadas em radioterapia. Uma fonte para ser considerada selada deverá passar por ensaios que garantam a não dispersão do material.

Fonte aberta é aquela em que o produto radioativo não está isolado física nem radiologicamente do ambiente, estando em forma líquida ou dispersível. Os radiofármacos usados em medicina nuclear são todos fontes abertas, pois só assim podem ser aplicados nos pacientes pelas vias oral, inalatória ou parenteral.

Com o evoluir da ciência, elementos radioativos, como o iodo e o tecnécio, começaram a ser utilizados para fazer diagnósticos. Nascia a Medicina Nuclear (EISENBERG, 1992). Nesta especialidade médica, excelente no estudo de funções orgânicas, um radiofármaco é injetado, ingerido ou inalado pelo paciente. Após ser incorporado em funções orgânicas nas quais há atividade celular aumentada, como nos tumores, ele passa a emitir radiação gama que será detectada e transformada em imagem, via computador. A maior novidade da especialidade é o PET (Positron Emission Tomography) com o qual se estuda o metabolismo da glicose, usando flúor-18, com possibilidade de identificar tumores em fases muito iniciais, mais precocemente do que qualquer outro método já inventado (THRALL e ZIESSMAN, 2003).

A Medicina Nuclear, além de diagnóstica, pode ser usada na terapêutica. O iodo-131 é utilizado no tratamento do hipertiroidismo e do câncer de tireóide. O samário-153 é eficaz no tratamento de dores ósseas secundárias e metástases ósseas de tumores da próstata e mama (SHACKETT, 2000).

A Medicina Nuclear é uma das especialidades médicas que mais cresce (SAHA, 1998; THRALL e ZIESSMAN, 2003). O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN fornece aproximadamente 21 produtos radioativos e 15 tipos de reagentes liofilizados para mais de 300 hospitais, onde cerca de 2.000.000 de pacientes foram beneficiados em 2004 (CNEN, 2005; IPEN, 2004). De acordo com Regis (2002), nos EUA, em torno de um quarto dos pacientes hospitalares já recebe algum procedimento que envolva energia nuclear, podendo-se esperar um

aumento significativo de sua utilização também no Brasil, nos próximos anos, com crescimento aproximado de 10% ao ano.

A radioterapia iniciou-se com a aplicação do elemento rádio, cedido pelo casal Curie a um dermatologista, que o empregou no tratamento de um paciente com lupus eritematoso. Hoje divide-se em teleterapia e braquiterapia (EISENBERG, 1992). A teleterapia utiliza fontes radioativas externas como o cobalto-60 e o cézio-137 no tratamento de tumores. A braquiterapia consiste na introdução de fios e sementes irradiados em regiões específicas do corpo, sem lesar os tecidos periféricos. Fios de irídio-192 são introduzidos em neoplasias mamárias, cervicais e cefálicas, enquanto sementes de iodo-131 são utilizadas no tratamento do câncer de próstata.

2.1.3.1 Principais radioisótopos utilizados na Medicina Nuclear

O termo radionuclídeo refere-se apenas ao átomo radioativo. Quando um radionuclídeo combina-se com uma molécula e tem a propriedade de distribuir-se desigualmente pelo corpo, acumulando-se em regiões específicas e desejadas, é referido como radioquímico.

O termo radiofármaco é usado para materiais radioativos que preenchem os requisitos farmacológicos para serem administrados aos seres humanos. Isto requer adição ao radiofármaco de agentes estabilizadores e de tamponamento, além da aprovação pelos órgãos legais de cada país (THRALL e ZIESSMAN, 2001). No Brasil os produtos médicos e farmacêuticos são regulados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde.

As características desejáveis de um radiofármaco são a produção de fótons gama com energia adequada para detecção externa, isto é entre 100 e 200 keV, meia-vida suficiente para permitir a aplicação almejada e não emissão de radiação particulada. O tecnécio-99m é o marcador mais utilizado porque praticamente preenche todos estes requisitos, sendo a energia de seu fotopico principal de 140 keV (THRALL e ZIESSMAN, 2001). Na TAB. 1 mostram-se os principais radioelementos utilizados em Medicina Nuclear (SHACKETT, 2000).

TABELA 1 - Principais características dos radionuclídeos usados em Medicina Nuclear.

RADIONUCLÍDEO	MEIA-VIDA FÍSICA	EMISSÃO
Molibdênio-99	2,8 dias	Gama
Tecnécio-99m	6 horas	Gama
Iodo- 131	8 dias	Gama e Beta
Iodo- 123	13,2 horas	Gama
Gálio-67	78,3 horas	Gama
Tálio-201	73,1 horas	Gama
Índio-111	2,8 dias	Gama
Samário-153	1,9 dias	Gama e Beta

Fonte: Shackett, 2000.

Os radionuclídeos de uso clínico são produzidos em reatores nucleares ou em aceleradores nucleares como os cíclotrons. As principais reações nucleares utilizadas na produção de radioisótopos são a captura neutrônica e a fissão nuclear. Na primeira um nêutron é capturado pelo átomo alvo e um fóton de raio gama é emitido. O molibdênio-99 e o estrôncio-85 são obtidos desta forma a partir do $^{98}\text{MoO}_3$ e do $^{84}\text{SrCO}_3$, respectivamente. A fissão nuclear do ^{235}U e do ^{239}Pu dá origem a uma vasta gama de radionuclídeos com massa atômica de 72 a 162, incluídos aí o ^{90}Sr , ^{99}Mo e o ^{131}I . O principal tipo de acelerador de partículas utilizado na produção de radiofármacos é o cíclotron. O ^{11}C , ^{18}F e ^{15}O , dentre outros, são produzidos em cíclotrons (ROCHA e HARBERT, 1979).

O flúor-18, que possui meia-vida de 110 minutos, é amplamente utilizado na Tomografia por Emissão de Pósitrons em estudos neurológicos, ósseos e cardíacos. (THRALL e ZIESSMAN, 2001).

Vários sistemas de geradores têm sido explorados para os radionuclídeos molibdênio-99; rubídio-88; germânio-68; estrôncio-82, dentre outros. No entanto, o mais utilizado é o gerador de molibdênio-99/tecnécio-99m (THRALL e ZIESSMAN, 2001).

O gerador de tecnécio-99m é constituído de uma blindagem contendo molibdênio-99, elemento que gera o tecnécio-99m a partir de seu decaimento radioativo. No interior da blindagem há uma coluna de vidro contendo alumina, onde está absorvido molibdênio-99, produto de fissão produzido em reatores nucleares. Em uma extremidade coloca-se um frasco com solução salina

de cloreto de sódio e em outra um frasco em vácuo, que recolherá o tecnécio-99m. Este processo chama-se eluição. O gerador de tecnécio-99m é fornecido com atividades que vão de 250 a 2.000 milicuries. As doses e soluções administradas são determinadas pelo médico, sendo que em uma cintilografia óssea pode chegar a 20 milicuries.

Mais de 300 hospitais e clínicas credenciados pela CNEN recebem este produto, utilizado em mais de 90% dos procedimentos de medicina nuclear. Em 2005 foram distribuídos 10,5 mil geradores de tecnécio pelo IPEN (IPEN, 2005a)

Na FIG. 9 é mostrado um gerador de tecnécio-99m. Radiofármacos marcados com tecnécio-99m (FIG. 10) são utilizados nas principais indicações da Medicina Nuclear, que são a pesquisa de alterações tumorais e inflamatórias, funcionais dos ossos, cérebro, coração, pulmões e rins (FIG. 11).



FIGURA 9 – Gerador de tecnécio-99m (IPEN, 2005a).

Radiofármacos marcados com iodo, principalmente o iodo-131, são utilizados no estudo e tratamento de patologias da tireóide (THRALL e ZIESSMAN, 2003).

Na FIG. 11 é mostrada uma cintilografia óssea utilizando-se tecnécio-99m. As regiões onde há maior concentração do radiofármaco aparecem em amarelo e vermelho, demonstrando áreas de alta multiplicação celular, características de processos patológicos infecciosos ou tumorais.

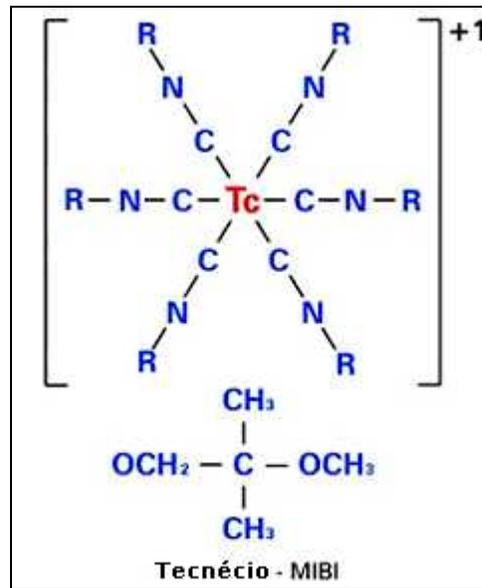


FIGURA 10 – Fórmula química de um radiofármaco contendo tecnécio-99m.

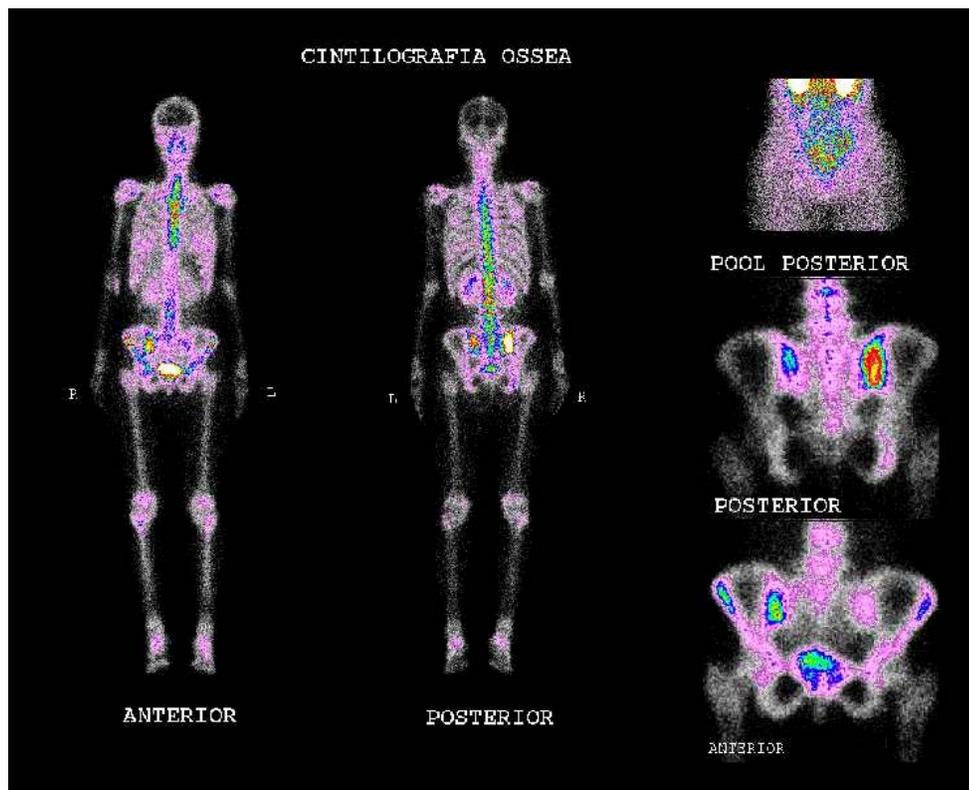


FIGURA 11 – Exemplo de cintilografia óssea com tecnécio – 99m (SIQUEIRA e LIMA, 2004).

Segundo Siqueira e Lima (2004) na maioria das clínicas e hospitais de Belo Horizonte, os radiofármacos de uso predominante são o tecnécio-99m e o iodo-131, chegando em algumas clínicas a mais de 90% a utilização de tecnécio e aproximadamente 5% a do iodo.

O samário-153 tem utilização exclusiva no tratamento paliativo da dor óssea de origem neoplásica (THRALL e ZIESSMAN, 2003).

2.2 Princípios Básicos de Radioproteção

Os objetivos da proteção radiológica são a prevenção ou minimização de seus efeitos somáticos e redução da probabilidade de efeitos genéticos devido à exposição crônica. Os princípios básicos da radioproteção são Justificação, Otimização e Limitação da dose individual (CNEN, 2005a).

Considera-se que a dose acumulada num período de vários anos seja o fator preponderante para os efeitos deletérios das radiações, mesmo que as doses intermitentes recebidas durante este período sejam pequenas. Está demonstrado que qualquer exposição de um tecido envolve um risco carcinogênico e, se em gônadas, pode implicar num detrimento genético nos descendentes do indivíduo exposto (TAUHATA et al., 1999). Assim, qualquer atividade envolvendo radiação deve ser justificada em relação a outras opções e produzir um benefício líquido positivo para a sociedade (SILVA et al., 2003).

A otimização do uso das radiações está estabelecida no princípio ALARA (ALARA: As Low As Reasonably Achievable), que institui que todas as exposições devam ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequíveis (ICRP, 1977, 1991).

Com relação ao terceiro princípio básico, os limites de dose individual devem ser mantidos abaixo do limiar de detrimento à saúde. O limite de dose efetiva anual é de 1 mSv para indivíduos do público. O limite de dose para trabalhadores é 100 mSv em 5 anos, podendo chegar a 50 mSv em um único ano (20 mSv na média) (ICRP, 1991; SILVA et al., 2003).

2.2.1 Tipos de radiação

Um átomo instável torna-se estável com emissão de parte de sua massa, de pulsos de energia ou de ambos. Estes fenômenos constituem as radiações que, se do primeiro tipo, são chamadas de partículas e as demais constituem os raios (TAUHATA et al. 1999).

A partícula alfa (α) possui 2 prótons e dois nêutrons. Seu poder de penetração é muito pequeno e só é danosa ao organismo humano se ingerida ou inalada. A partícula beta (β) é um elétron emitido por um núcleo radioativo, com pequeno poder de penetração podendo ser freada por alguns milímetros de alumínio. O risco para a saúde é pequeno quando a fonte está fora do corpo, sendo considerável para fontes internas ao organismo humano.

Após a emissão de uma partícula, o núcleo radioativo emite raios gama (γ), que são ondas eletromagnéticas desprovidas de carga e massa, semelhantes a outras radiações eletromagnéticas como a luz visível e os raios X. Os raios gama, também chamados fótons, têm alto poder de penetração e são deletérios para o organismo humano, mesmo a fonte estando fora do corpo.

Os raios X são também ondas eletromagnéticas com grande poder de penetração, que têm origem na eletrosfera (raios X característicos) ou no freamento de partículas carregadas no campo eletromagnético do núcleo atômico ou dos elétrons (raios X de freamento).

A maioria dos isótopos utilizados em procedimentos de Medicina Nuclear, inclusive o tecnécio-99m, emite radiação gama e uns poucos, como o iodo, emitem além de raios gama, partículas beta (THRALL e ZIESSMAN, 2003).

2.2.2 Riscos na manipulação das fontes (contaminação e irradiação)

Os seres humanos podem ser contaminados ou expostos à radiação. A contaminação ocorre quando fontes de radiação entram no corpo humano através de ingestão, inalação ou absorção cutânea (ICRP, 1991; TAUHATA et al. 1999). Portanto a contaminação caracteriza-se pela presença de um material indesejável em um determinado local.

A irradiação ocorre quando o corpo humano é colocado ao alcance das radiações ionizantes emitidas por fontes externas ao corpo, ou seja, a irradiação é a exposição de um objeto ou de um corpo à radiação.

A energia radioativa transferida aos tecidos vivos desencadeia reações físicas e químicas que podem levar a modificações biológicas tanto no indivíduo exposto quanto nos seus descendentes.

Efeitos determinísticos das radiações ocorrem acima de um limiar de dose causando morte de um número significativo de células, com dano ao organismo. Estes efeitos não ocorrem com baixas doses de radiação e sua gravidade aumenta com a dose. Exemplos de efeitos determinísticos são a catarata no cristalino do olho, lesões não-cancerosas de pele, redução da

fertilidade por danos gonadais e lesões na medula óssea com deficiências hematológicas e imunológicas.

Efeitos estocásticos ou probabilísticos das radiações ocorrem quando a célula irradiada é alterada, porém permanece viva. As mutações celulares resultantes geralmente são isoladas ou destruídas pelo organismo. Se isto não ocorrer, após um longo período de latência, que pode durar anos, há a possibilidade de surgirem células neoplásicas malignas.

A probabilidade de ocorrência de câncer conseqüente a baixas doses de radiação é proporcional à dose recebida, sem limiar de dose detectável. Assim sendo, mesmo doses pequenas de radiação podem provocar câncer. Já a gravidade do câncer não será influenciada pela dose (ICRP, 1977, 1991;TAUHATA et al. 1999).

Ocorrendo dano numa célula germinativa dos testículos ou ovários a alteração poderá ser transmitida às gerações subseqüentes. Estes efeitos chamados de genéticos ou hereditários estão comprovados em animais de laboratório, mas ainda não foram observados na espécie humana, nem mesmo nos filhos e netos dos sobreviventes dos efeitos das bombas atômicas lançadas sobre o Japão em 1945. Os efeitos observados nessa população são devidos à irradiação de embriões ou fetos, em mulheres grávidas na época (ICRP,1991).

A irradiação do útero gravídico nas duas primeiras semanas aumenta o risco de aborto espontâneo. A partir daí até o terceiro mês de gravidez, fase organogênica, aumenta o risco de malformações. Da metade do segundo mês até a metade do quinto mês aumenta a probabilidade de redução do quociente intelectual das crianças. A irradiação do feto em qualquer fase da gravidez aumenta a probabilidade de provocar efeitos estocásticos como o câncer (ICRP, 1991; SILVA et al., 2003).

2.2.3 Fatores de redução das doses

As radiações externas podem ser controladas operando-se com três parâmetros: tempo, distância e blindagem ou barreira (TURNER, 1995; TAHUATA, et al.,1999).

2.2.3.1 Tempo

A dose acumulada por uma pessoa que trabalha numa área exposta a uma certa taxa de dose é diretamente proporcional ao tempo em que ela permanece na área. Essa dose pode ser controlada pela limitação desse tempo.

O tempo de permanência em áreas de trabalho nas quais existem materiais radioativos ou fontes de radiação deve ser o mínimo necessário, ou seja, quanto menor o tempo de exposição,

menores serão os efeitos causados pela radiação. Porém, o recurso mais eficaz de redução do tempo de execução de uma tarefa é o treinamento do operador e a otimização de sua habilidade (TAHUATA, et al. 1999).

2.2.3.2 Distância

Para uma fonte puntiforme de radiação emitindo em todas as direções, o fluxo, que é proporcional à taxa de dose numa determinada distância da fonte, é inversamente proporcional ao quadrado dessa distância. Assim, por exemplo, dobrando-se a distância entre a fonte e o detector, reduz-se a taxa de dose a 1/4 de seu valor inicial. Dessa forma o modo mais fácil de se defender das radiações ionizantes é manter-se longe da fonte (TAHUATA, et al. 1999).

2.2.3.3 Blindagem

As pessoas que trabalham com fontes ou geradores de radiação ionizante devem dispor de procedimentos técnicos bem elaborados, de modo que o objetivo da tarefa seja concretizado e sua segurança esteja garantida contra exposições desnecessárias ou acidentais. Nesses procedimentos os fatores tempo e distância em relação às fontes radioativas estão implícitos na habilidade e destreza de um técnico bem capacitado para a tarefa. Por não apresentar hesitações durante sua execução, sua duração é mínima; por dominar todos os elementos do processo, não comete enganos, posiciona-se em lugar adequado e com a postura correta. Entretanto, em certas situações, principalmente quando se opera com fontes intensas ou níveis elevados de radiação, além de colimadores, aventais, labirintos e outros artefatos, é necessário introduzir um outro fator de segurança: a blindagem. A escolha do material de blindagem depende do tipo de radiação, atividade da fonte e da taxa de dose que é aceitável fora do material de blindagem (TAHUATA, et al. 1999).

O cálculo e a construção de uma blindagem para uma instalação devem levar em consideração a localização dos geradores de radiação, as direções possíveis de incidência do feixe, o tempo de ocupação da máquina ou fonte, a carga de trabalho, os locais e áreas circunvizinhas e a planta da instalação. Além do cálculo da barreira primária, deve-se calcular a barreira secundária devido ao espalhamento da radiação nas paredes, nos equipamentos e no ar. Após a escolha dos materiais da construção da instalação e da blindagem, calculam-se as espessuras e escolhem-se as geometrias que otimizam a redução do nível de radiação aos estabelecidos por normas específicas e gerais de radioproteção (TAHUATA, et al. 1999).

Na FIG. 12 é apresentado um sistema de blindagem (biombo de chumbo), utilizado em exames radiológicos, para proteção do operador.



FIGURA 12 – Sala de exames radiológicos com um biombo de chumbo à direita protegendo o operador.

2.3 Detectores de radiação

Detectar a radiação de forma segura, rápida e em níveis mínimos é fundamental em toda a atividade que usa radiação ionizante. Na prática médica, a quantidade e o tipo de radioatividade administrada aos pacientes ou presente no ambiente onde o trabalho é exercido, devem ser monitorados para manter a segurança de pacientes, equipe de trabalho e demais pessoas que circulem na área ou em suas imediações como, acompanhantes ou visitantes.

O ponto de interseção entre todos os dispositivos usados para medir a radiação, conhecidos por detectores de radiação, é a conversão da radiação ionizante em energia elétrica. Em detectores modernos de radiação os sinais eletrônicos são frequentemente gravados e processados por computadores. Este é o princípio da formação da imagem nos equipamentos de tomografia computadorizada e de medicina nuclear. Nos equipamentos de medicina nuclear a gama-câmara é um detector por cintilação especializado, modificado e adaptado para gravar a localização temporal e espacial da radioatividade no paciente (THRALL e ZIESMAN, 2003).

Na proteção radiológica os detectores são instrumentos que indicam níveis de radiação naturais e artificiais, incluindo escapes e dispersão de material radioativo, sendo utilizados também para verificação de doses acima dos limites permitidos nos locais de trabalho ou no meio ambiente.

Os principais tipos de detectores de radiação, definidos considerando o mecanismo utilizado para converter energia radioativa em elétrica, são: a câmara de ionização, o contador Geiger-Müller e cintiladores (TAHUATA, et al. 1999).

2.3.1 *Câmara de ionização*

A câmara de ionização é uma câmara cheia de gás com eletrodos positivo e negativo, dispostos em locais opostos ou numa geometria cilíndrica concêntrica (FIG. 13).

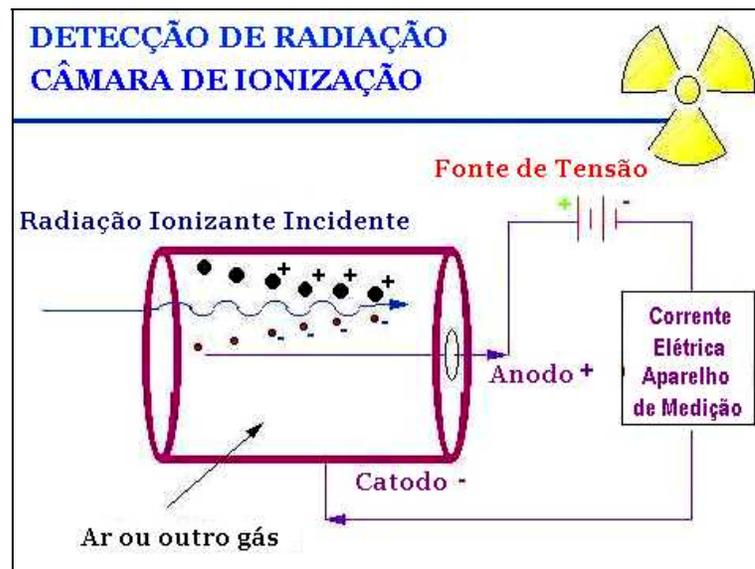


FIGURA 13 – Esquema de funcionamento da câmara de ionização (IDAHO, 2005a, traduzido por TELLO, 2005).

Uma diferença de potencial é criada para não permitir fluxo de corrente entre os eletrodos na ausência de radiação. A interação da radiação com o gás da câmara cria íons positivos e negativos que se movem para os eletrodos, produzindo corrente elétrica. É indicada para medir a corrente total de múltiplos eventos durante um certo período. Dosímetros de bolso são exemplos deste tipo de detector (TAHUATA, et al. 1999).

2.3.2 *Contador Geiger-Müller*

De acordo com Tahuata et al, (1999) no contador Geiger-Müller a alta voltagem aplicada entre os eletrodos, que é maior que na câmara de ionização, causa uma avalanche de

ionizações secundárias, de tal forma que todo o gás é ionizado (FIG. 14). Eventos individualizados são contados, mas não é possível identificar suas energias. Outra restrição do contador Geiger é o tempo morto, isto é, o tempo para que o gás totalmente ionizado recupere-se e possa contar novos eventos. Os contadores Geiger são utilizados como medidores de superfície e para monitoração de área (FIG. 15).

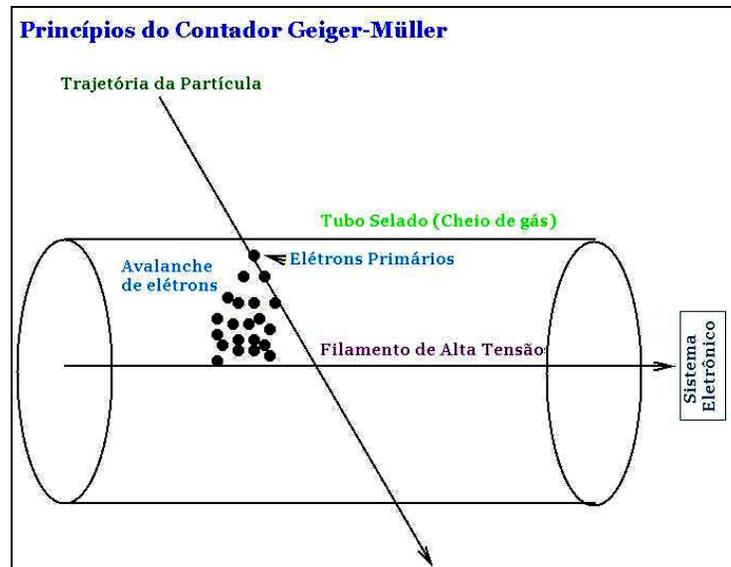


FIGURA 14 – Esquema de funcionamento do contador Geiger-Müller (BOSTON, 2005, traduzido por TELLO, 2005)



FIGURA 15 – Detectores Geiger-Müller

2.3.3 Detectores por cintilação

A câmara de ionização e o detector Geiger são pouco sensíveis para detectar radiação X e gama devido à baixa probabilidade de interação destas radiações eletromagnéticas com o gás.

O cintilômetro é um detector sólido constituído de um cristal opticamente transparente e eficiente na detecção de ondas eletromagnéticas. Em geral usa-se o cristal de iodeto de sódio ativado com tálio (NaI [Tl]), como cintilador.

Neste tipo de detector, os raios X e gama incidem no cristal de iodeto de sódio cedendo energia aos elétrons de valência, que migram para a banda de condução, ficando instáveis. Ao retornar para a banda de valência estes elétrons liberam energia na forma de fótons de luz. O tálio é utilizado para tornar mais eficiente o processo de cintilação. Os fótons de luz são multiplicados e deslocam elétrons do fotocatodo, os quais serão acelerados e aumentados por fotodiodos, sendo finalmente coletados por anodos. O número de elétrons gerados no fotocatodo é proporcional ao número de fótons luminosos do cristal e à corrente elétrica gerada pela fotomultiplicadora. Isto permite que energias diferentes provenientes de diferentes radionuclídeos possam ser distinguidas entre si pela análise da altura de cada pulso, característica única de cada elemento químico (TAHUATA, et al. 1999).

Na FIG. 16 é apresentado o esquema do detector por cintilação e na FIG. 17 são apresentados alguns cintilômetros.

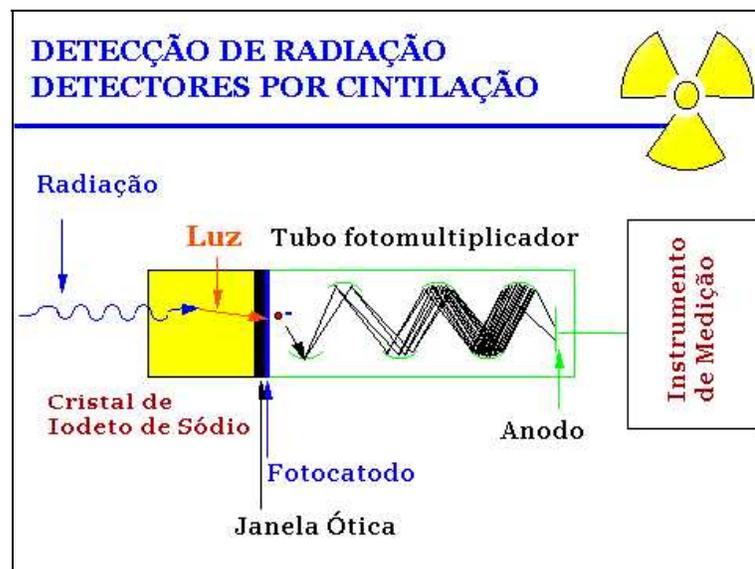


FIGURA 16 – Esquema do detector por cintilação (IDAHO, 2005a, traduzido por Tello, 2005).



FIGURA 17 – Modelos de cintilômetros

As energias das radiações ionizantes e abundância relativa são características físicas de cada radionuclídeo (SHACKETT, 2000), o que permite a utilização de detectores para identificação de radionuclídeos.

Assim num sistema de detecção ideal e considerando a absorção completa da radiação gama de 140 keV do tecnécio-99m, haveria uma linha única que seria gravada no valor 140 keV (THRALL e ZIESMAN, 2003).

O espectro de energia dos raios X e gama é plotado, por convenção, com a energia no eixo x, e o número relativo de eventos, no eixo y. Ilustra-se a seguir o espectro do tecnécio-99m, radionuclídeo muito utilizado na prática médica (FIG. 18).

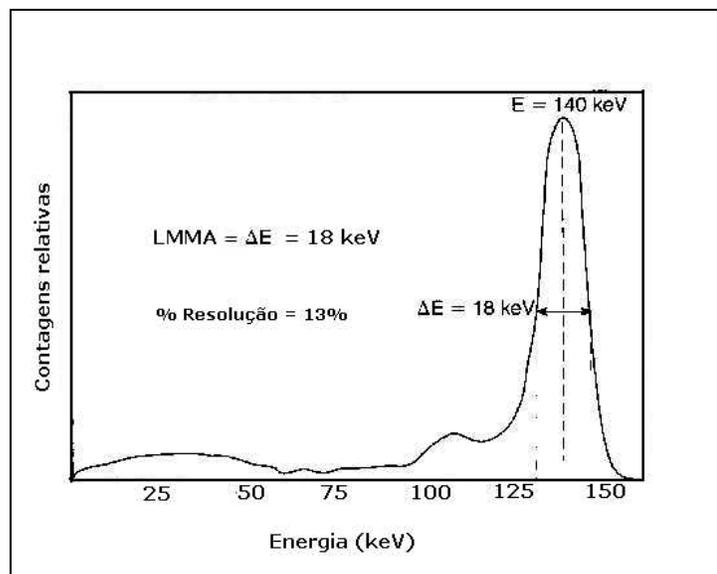


FIGURA 18 – Espectro do ^{99m}Tc (THRALL e ZIESMAN, 20003).

2.4 Resíduos de Serviços de Saúde

Segundo Keene (1991), citado por Cussioli (2000), os resíduos de serviços de saúde são uma subdivisão dos resíduos urbanos, sendo que nos Estados Unidos esses resíduos compreendem menos do que 1% do volume total dos resíduos urbanos.

Belo Horizonte tem uma população de 2.238.526 habitantes e os serviços de coleta de lixo atendem a aproximadamente 98% da população (PBH, 2004).

Em outubro de 2004 os resíduos de serviços de saúde compreenderam cerca de 0,99% dos resíduos destinados ao aterro sanitário de Belo Horizonte, conforme a Superintendência Municipal de Limpeza Urbana (PBH, 2004a).

Uma característica significativa dos RSS é a heterogeneidade. De forma semelhante aos resíduos sólidos urbanos, os resíduos médicos e hospitalares são constituídos de produtos de origem biológica, química e inertes, como papel, plástico, produtos algodonosos, tecidos, restos de alimentos, vidros, metais, objetos perfurocortantes, fraldas descartáveis, absorventes higiênicos, sangue, resíduos patológicos, pequenas peças anatômicas e restos de medicamento. A composição gravimétrica dos resíduos sólidos e, principalmente, daqueles oriundos de serviços de saúde é uma informação importante, mas há poucas referências sobre o assunto na literatura (CUSSIOLI, 2000; ANDRADE, 1999; SOARES, 2000).

No Brasil, Andrade (1999) pesquisou diferentes tipos de estabelecimentos geradores de RSS, tais como hospitais, clínicas médicas e odontológicas, farmácias e outros estabelecimentos congêneres da cidade de São Carlos, estado de São Paulo, e encontrou a composição gravimétrica apresentada na TAB. 2.

Soares e colaboradores (2000) estudaram a composição física e gravimétrica dos RSS do Hospital Governador Celso Ramos de Florianópolis/SC, um hospital de atendimento geral, que possui plano de gestão de resíduos, que inclui segregação na fonte e coleta externa diária. Na TAB. 3 é mostrado o resultado deste trabalho.

TABELA 2 - Composição gravimétrica dos resíduos de serviços de saúde (RSS) de diferentes estabelecimentos geradores da Cidade de São Carlos, SP.

MATERIAL	QUANTIDADE (%)
Papel	31,5
Vidro	14,8
Plástico filme	14,4
Plástico duro	9,5
Tecido	8,8
Metal	4,9
Papelão	4,9
Matéria orgânica	2,3
Madeira	1,0
Outros	8,0

Fonte – ANDRADE (1999), citado por CUSSIOL (2000.)

TABELA 3 - Composição gravimétrica da fração sólida dos RSS do Hospital Celso Ramos.

COMPONENTE	%
Algodão	14,8
Adesivos	7,0
Alumínio	0,4
Papelão	1,4
Vidros	2,0
Papel	17,2
Plástico filme	8,0
Plástico não filme	28,0
Látex	20,5
Outros materiais	0,5

Fonte: SOARES (2000)

Segundo Cussiol (2000), a taxa de geração de resíduos nos hospitais depende efetivamente do número total de leitos, daqueles dedicados ao tratamento intensivo e da presença de instalações especiais. O incremento do uso de materiais descartáveis tem aumentado a

quantidade de resíduos gerados. Em pesquisas realizadas nos Estados Unidos, a taxa de geração de rejeitos variou de 5,6 a 6,8 kg de resíduos por paciente por dia. Em estudo realizado pela prefeitura de Roma, em 1966 a taxa de geração variou de 0,5 kg/leito nos pequenos centros de tratamento a 2,5 kg/leito nos grandes hospitais, com uma taxa média de geração de aproximadamente 1,5 kg/leito/dia. (ROMA, 1996, citado por CUSSIOL, 2000).

O uso de materiais radioativos em fontes abertas em hospitais, clínicas de diagnóstico e tratamento e centros de pesquisa, resulta na geração de vários tipos de rejeitos. Estes incluem, além dos invólucros, itens que foram contaminados com material radioativo como papéis, plásticos, luvas, tubos, drenos, catéteres, compressas, agulhas, seringas, além de excretas dos pacientes submetidos a procedimentos diagnósticos e/ou terapêuticos.

No Brasil, os resíduos gerados nos Serviços de Medicina Nuclear (SMN), exclusivos ou naqueles localizados em hospitais são coletados juntamente com aqueles dos demais hospitais, clínicas, postos de saúde e farmácias, não sendo possível diferenciá-los dos demais ao término da coleta.

Os radionuclídeos utilizados usualmente em Serviços de Medicina Nuclear (SMN) possuem meia-vida curta, sendo que o de meia-vida mais longa é o iodo-131 (8 dias). Após o período de decaimento na instalação geradora até níveis legais de liberação os resíduos podem ser destinados aos aterros sanitários, como resíduos comuns, respeitadas as restrições quanto a sua periculosidade (CNEN, 1985; BRASIL, 2004; SCHNEIDER, 2004).

Os resíduos líquidos ou excreta de pacientes são destinados ao sistema de esgoto, sem outras recomendações adicionais (CNEN, 1996).

Fontes seladas utilizadas em teleterapia contêm radionuclídeos de meia-vida longa, como o cério-137 e o cobalto-60. Quando gastas, devem ser devolvidas ao fabricante ou enviadas a outra organização, onde ainda possam ser úteis. Se inviáveis as hipóteses anteriores elas devem ser encaminhadas a CNEN, conforme resoluções específicas de segregação, acondicionamento, armazenamento, transporte, tratamento e disposição em depósitos específicos (CNEN, 1985; SILVA e CUSSIOL, 1999).

As fontes de braquiterapia desativadas ou danificadas devem ser acondicionadas em recipientes blindados e armazenadas em local apropriado para posterior encaminhamento aos institutos da CNEN (SILVA e CUSSIOL, 1999).

2.5 Gerência de Rejeitos Radioativos

2.5.1 *Rejeitos Radioativos*

Todos os materiais naturais e artificiais contêm radionuclídeos, incluindo os seres vivos, portanto afirmar que qualquer resíduo que possua elementos radioativos incorporados seja caracterizado como rejeito radioativo é impróprio. Assim deve-se estabelecer limites mínimos que qualifiquem um resíduo como rejeito radioativo. Para a determinação destes limites avaliam-se as conseqüências que adviriam da liberação dos resíduos para a biosfera, as propriedades dos mesmos, os radioisótopos presentes e as características do meio ambiente (SILVA, 1997).

Considera-se rejeito radioativo (RR) qualquer material que contenha radionuclídeos em quantidades superiores aos limites de isenção especificados na norma da Comissão Nacional de Energia Nuclear CNEN-NE-6.02 (CNEN, 1998) e para o qual a reutilização é imprópria ou não prevista (CNEN, 1985).

Os rejeitos radioativos são gerados durante a operação dos reatores nucleares de potência, pelas instalações do ciclo do combustível (mineração, beneficiamento do minério, conversão, enriquecimento, fabricação de elementos combustíveis e reprocessamento) e por aqueles que utilizam radioisótopos na medicina, indústria, agricultura e pesquisa (TELLO, 2001).

Os rejeitos são normalmente coletados, processados e acondicionados, de modo a atender às exigências de normas de segurança para o manuseio, transporte, armazenamento e deposição.

As propriedades mais importantes para a classificação de rejeitos estão relacionadas à radioatividade, ou seja, ao tipo de desintegração dos radionuclídeos (alfa, beta, gama e/ou nêutrons), à radiotoxicidade (toxicidade atribuída a um radionuclídeo) e à sua meia-vida. Segundo a norma CNEN-NE-6.05 (1985), os rejeitos são classificados em categorias de acordo com o estado físico, natureza da radiação, concentração e taxa de exposição. A classificação dos rejeitos em categorias dependentes do tipo de radiação e da concentração de material radioativo ajuda no estabelecimento de uma linguagem comum entre os que operam sistemas de tratamento de rejeito.

2.5.2 *Fundamentos da Gerência de Rejeitos Radioativos*

O termo Gerência de Rejeitos Radioativos (GRR) abrange a seqüência de operações que envolvem os rejeitos começando na geração e finalizando com a sua deposição. Estas operações têm como objetivo principal gerenciar os rejeitos de maneira segura, de modo a proteger a saúde humana e o meio ambiente de seus impactos negativos. A magnitude e o tipo de

impacto potencial resultante do rejeito radioativo dependerá das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, em particular daquelas relacionadas à radioatividade. A aplicação de tecnologias apropriadas em cada etapa, desde a geração até a deposição do rejeito, tem como objetivo minimizar ou prevenir este impacto potencial negativo (TELLO, 2003).

Os princípios fundamentais da GRR são resumidos em (TELLO, 2003):

- Não-geração: nenhuma prática usando materiais radioativos deve ser adotada a menos que sua introdução produza um benefício positivo comprovadamente superior à prática com materiais convencionais.
- Redução de volume: deve-se, sempre que possível, exaurir as possibilidades de uso dos materiais radioativos antes de descartá-los como rejeitos; segregar os rejeitos radioativos dos demais rejeitos, bem como segregar-los entre si de acordo com a meia-vida de seus radionuclídeos, forma e possibilidades de tratamento e optar por tratamentos que reduzam o máximo possível o rejeito final a ser armazenado.
- Proteção do trabalhador, do público e do meio ambiente: durante todas as etapas da GRR deve-se proteger o trabalhador, o público e o meio ambiente de qualquer efeito nocivo que possa advir dos RR.
- Gerações futuras : as atividades da GRR não devem gerar ônus para as gerações futuras, que devem ser supridas pelo menos com o mesmo grau de proteção à radiação que é dado ao público hoje. A segurança dos RR também não deve depender da manutenção ativa do sistema de deposição pelas futuras gerações além do período institucional de guarda.

Deve-se ter em mente que a maioria das etapas da GRR podem envolver exposição e/ou contaminação e por isto existem normas, leis, procedimentos e recomendações, que devem ser conhecidos e utilizados, para garantir a proteção do meio ambiente e da saúde humana (TELLO, 2003).

2.5.3 Etapas principais da Gerência de Rejeitos Radioativos

A tecnologia aplicada à gerência de rejeitos é um tema que tem recebido considerável atenção dos Países Membros da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), em reconhecimento da importante ligação que existe entre a aceitação pública das aplicações nucleares e o gerenciamento seguro do rejeito radioativo. Esta ligação deve ser mantida para garantir a segurança radiológica para trabalhadores e público, para evitar acidentes e minimizar exposições a radionuclídeos associados ao rejeito radioativo (TELLO, 2003).

Assim a principal tarefa de um sistema de gerenciamento de rejeitos é que todas as suas etapas sejam realizadas em conformidade com os requisitos nacionais e obrigações

internacionais, levando em consideração os fatores econômicos e sócio-políticos envolvidos. Um fluxograma abrangente mostrando as etapas da gerência é apresentado na FIG. 19.

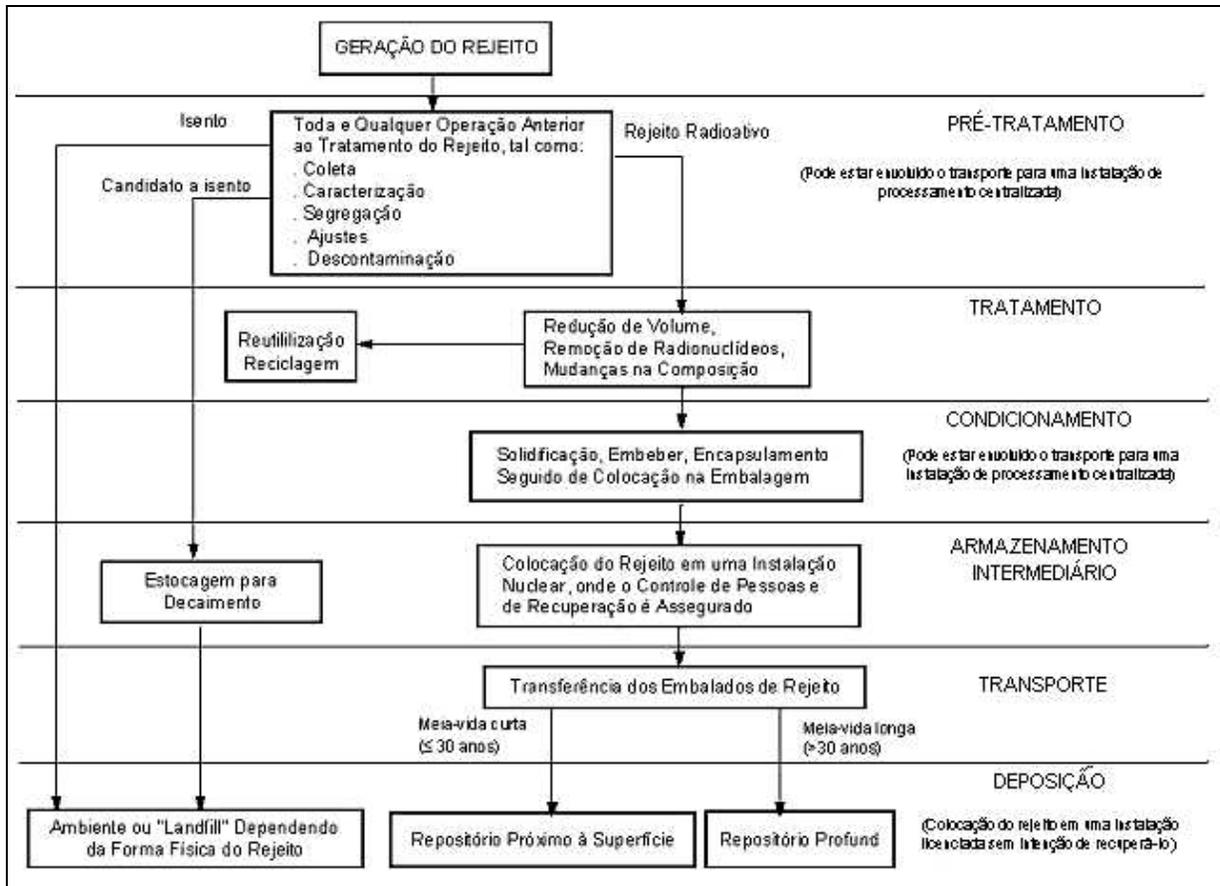


FIGURA 19 - Fluxograma típico para a Gerência de Rejeitos Radioativos Fonte: IAEA (1999) citado por Tello (2001).

A aplicação ótima de tecnologia relacionada à minimização, tratamento, condicionamento e armazenamento ou deposição dos rejeitos é necessária pelos seguintes fatores (IAEA,1999 citado por TELLO 2003):

- os rejeitos radioativos podem ser dispostos somente em instalações especialmente licenciadas para este fim e a deposição direta próxima à superfície de rejeito radioativo no solo (sem tratamento, imobilização ou embalagem apropriadas) não é aceitável;
- com a crescente inquietação social relativa ao uso da terra e com o aumento da oposição do público à colocação de instalações de RR perto de suas localidades, o desenvolvimento de novas instalações é um processo caro, prolongado e difícil; e
- a proteção segura da saúde humana e do meio ambiente pode ser alcançada, se as tecnologias para a GRR são aplicadas com prudência.

2.5.3.1 Segregação e coleta

A segregação dos vários tipos de rejeitos deve ser realizada na origem, de acordo com suas características e teor radiológicos, sua composição química e propriedades físicas. É de importância fundamental para a eficiência da GRR, pois ela está diretamente ligada aos processos disponíveis nas etapas seguintes.

A segregação pode ser feita baseada na meia-vida dos radionuclídeos, na composição química, nas características físicas, ou ainda de acordo com os processos de tratamento que estão disponíveis. Para cada tipo de segregação é necessário prever embalagens compatíveis.

2.5.3.2 Tratamento e condicionamento

O tratamento do rejeito consiste, geralmente, em uma redução de volume, seguida de solidificação e/ou acondicionamento. Muitos materiais e combinações de materiais são considerados como matrizes para a incorporação destes rejeitos, com o objetivo de manter o material ativo e outros contaminantes em uma forma estável física e quimicamente. Dentre estes materiais incluem-se o cimento, o betume, o vidro, a cerâmica e os polímeros.

2.5.3.3 Transporte

O transporte abrange todas as operações e condições associadas à movimentação de material radioativo, incluindo os rejeitos, remetido de um local a outro, tanto em condições normais ou de acidente (CNEN, 1988).

O tipo de embalado para transportar determinado material radioativo, por determinado meio de transporte, com o objetivo de obter-se um desempenho adequado da respectiva embalagem referente à sua integridade, deve ser selecionado entre os quatro tipos primários seguintes:

- embalados exceptivos,
- embalados industriais,
- embalados tipo A,
- embalados tipo B,

explicitando-se, em cada caso, se o embalado contém material físsil.

Para a seleção da embalagem adequada deve ser identificada a natureza do material radioativo, com base nas especificações regulamentadas e avaliada a sua atividade total a partir dos valores básicos de atividade dos radionuclídeos presentes, de modo a atender aos requisitos de limitação de atividade aplicável a cada tipo de embalado.

Uma vez selecionado o tipo de embalado apropriado ao caso, em sua preparação para o transporte devem ser obedecidos os requisitos de projeto aplicáveis. Na TAB. 4 estão resumidos os tipos de embalados de acordo com os materiais radioativos a serem transportados.

TABELA 4 - Embalados de acordo com o material radioativo a ser transportado.

MATERIAL	EMBALADO
“Exceptivo” (Não definido explicitamente na norma)	Exceptivo [Atividade: $<10^{-3}$ x (A1 ou A2)]
Baixa Atividade Específica (BAE)	Contêiner de navio ou caçamba de caminhão (granel) Industrial
Objeto Contaminado Superficialmente (OCS)	Contêiner de navio ou caçamba de caminhão (granel) Industrial
Atividade total até A1 ou A2	Tipo A
Atividade total superior a A1 ou A2	Tipo B
Físsil	Embalados acima, dependendo da atividade
Baixa dispersividade e com atividade total superior a 3.000 x (A1 ou A2) (Proposta de revisão da norma)	Tipo C

Fonte: MOURÃO (2003).

Os valores de A1 e A2 são definidos para os vários radionuclídeos de todos elementos químicos radioativos na Norma CNEN-NE-5.01 (1988). Os valores A1 são aplicados quando o material radioativo encontra-se na “forma especial” e A2 para as demais situações.

Material sob “forma especial” é definido como material radioativo sólido não-dispersivo ou material radioativo contido em cápsula selada, devendo ser submetidos a ensaios de impacto, percussão, flexão e térmico sem que sofram danos físicos ou apresentem vazamentos após estes ensaios. O projeto do embalado para material sob forma especial deve ser aprovado pela autoridade competente do país de origem. Portanto, se algum rejeito radioativo sai de uma instalação médica devem ser cumpridos os requisitos para transporte de materiais radioativos. Exemplos de materiais radioativos sob forma especial: cápsulas seladas para uso em braquiterapia e material imobilizado em cimento ou betume.

A forma do material radioativo é fator de relevância no transporte, pois altera de maneira significativa a quantidade de atividade permitida no transporte. No caso do plutônio, por exemplo, o valor de A1 é de 7 TBq, já o valor de A2 é de 7×10^{-4} TBq, portanto, a quantidade a ser transportada sob forma não-especial deverá ter atividade 10.000 vezes menor que a permitida sob forma especial (CNEN, 1988). Nas FIG. 20 e 21 são apresentados alguns exemplos de embalados.

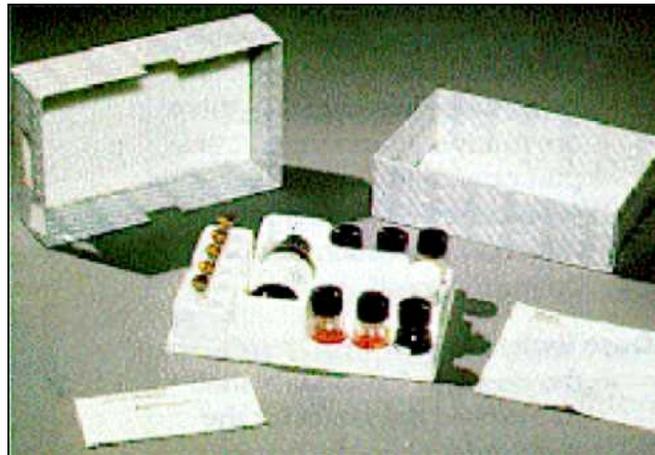


FIGURA 20 – Exemplo de embalado exceptivo. Fonte: IAEA (2002).

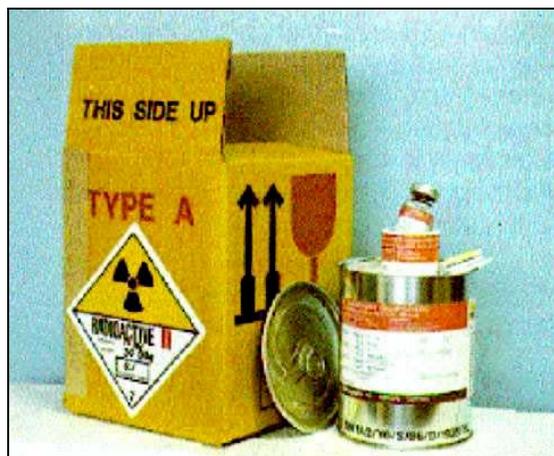


FIGURA 21 – Exemplo de embalado Tipo A. Fonte: IAEA (2002).

2.5.3.4 Armazenamentos

Durante o gerenciamento dos rejeitos, eles passam por diversos armazenamentos até o armazenamento definitivo, que é a deposição. Primeiramente o rejeito é coletado nos locais onde são produzidos e ali permanecem até a avaliação do serviço de radioproteção, que o caracteriza como rejeito ou não, após análises e comparação com as normas. Uma vez definidos como

rejeitos, os materiais coletados nas diversas instalações/laboratórios são levados para o armazenamento intermediário. Neste local eles são mantidos até que seja feito o planejamento para o seu tratamento/condicionamento, de acordo com o volume existente, o tipo de rejeito e radionuclídeos presentes. Em seguida, o rejeito tratado/condicionado, já em sua embalagem (FIG. 22), é enviado para o armazenamento provisório, aguardando o seu transporte para o repositório, onde será feita a deposição (TELLO, 2001).



FIGURA 22 – Instalação de armazenamento de RR de baixo nível de radiação.

2.5.3.5 Deposição

O impacto ambiental causado pela deposição dos rejeitos depende de uma série de fatores, como da qualidade do rejeito tratado, de suas embalagens, das barreiras de engenharia e do sítio selecionado para o repositório, principalmente dos caminhos de liberação dos contaminantes para o meio ambiente. A migração dos radionuclídeos, através dos diversos meios que compõem o sistema de deposição, é considerada a via mais importante para esta liberação.

Internacionalmente tem sido considerado o conceito de barreiras múltiplas para repositórios de rejeitos radioativos. Desta forma as medidas de proteção são fornecidas pela aplicação deste princípio, levando-se em consideração interdependências entre as várias etapas da gerência de rejeitos. As múltiplas barreiras são apontadas como isolamento suficiente do rejeito do meio ambiente e limitação de liberações possíveis dos materiais radioativos, assegurando que falhas ou combinações de falhas, que poderiam levar a significantes conseqüências radiológicas,

sejam muito pouco prováveis. Por isto é necessário que haja uma série de “critérios para a aceitação de rejeitos” e que só os produtos que atendam a estes critérios sejam aceitos para a deposição (TELLO, 2001).

2.5.3.6 Registros

Para que se tenha um perfeito controle dos rejeitos durante todo o seu gerenciamento é necessário que sejam feitos registros desde a sua geração, com identificação clara, unívoca e precisa, que vai ser usada durante todas as etapas até a deposição, de modo que a partir da embalagem no repositório a rastreabilidade seja garantida e as condições de segurança possam ser mantidas, evitando possíveis incidentes/acidentes e que, caso estes exijam, seja possível tomar medidas adequadas para o rejeito específico armazenado, evitando surpresas ou aumentando ainda mais o risco da situação.

Para estes registros são usadas fichas / protocolos, associados às embalagens de coleta, aos processos de tratamento e às embalagens finais de armazenamento, sendo todos estes registros colocados em um banco de dados, no qual é possível fazer o cruzamento e verificação destas informações.

Os registros são importantes também na etapa de deposição, para a definição de local, levantamento de inventário total armazenado e localização de cada embalado, mantendo-se até o final do controle institucional (TELLO, 2001).

2.6 Legislação e Normalização

Para o GRRSS são aplicáveis diversas normas, regulamentos e procedimentos estabelecidos por organismos nacionais e internacionais.

2.6.1 Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA

Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA, 2000) – International Atomic Energy Agency (IAEA) atua como o principal fórum de cooperação científica e técnica no uso da tecnologia nuclear para usos pacíficos.

A IAEA desenvolve padrões de segurança nuclear e, baseado nestes padrões, promove o alcance e a manutenção de altos níveis de segurança nas aplicações da energia nuclear, como também na proteção da saúde humana e do ambiente contra os efeitos nocivos da radiação ionizante, incluindo os usos na área de medicina. Neste campo foram publicados diversos documentos, nos quais são apresentados as recomendações, procedimentos e normas para o melhor gerenciamento dos materiais e dos rejeitos gerados nesta área (TELLO, 2003).

O documento IAEA-TECDOC-1183 (IAEA, 2000) é um guia para o gerenciamento de rejeitos radioativos de origem biomédica oriundos de hospitais, clínicas, laboratórios e demais serviços de saúde. Este documento descreve, em linhas gerais, práticas avançadas usadas em diferentes instalações mundiais que manuseiam radionuclídeos em aplicações médicas e biológicas, incluindo o gerenciamento dos resíduos gerados.

O documento IAEA-TECDOC-1000 (IAEA, 1998) tem como objetivo fornecer orientação com relação aos princípios de isenção para rejeitos radioativos oriundos de atividades biomédicas, industriais e de pesquisa. Estabelece os níveis para liberação de radionuclídeos no meio ambiente abaixo dos quais não há necessidade de controle posterior. Estabelece assim o conceito de liberação incondicional.

No relatório IAEA-TECDOC-855 (IAEA, 1996) estabeleceram-se os níveis de liberação ambiental de radionuclídeos, para os quais não seriam necessárias ações posteriores. Em 1998 este foi complementado pelo TECDOC-1000 (IAEA, 1998).

O documento IAEA-TECDOC-1091 (IAEA, 1999) relata a importância do desenvolvimento de critérios e abordagens para a proteção do meio ambiente dos efeitos das radiações ionizantes em diferentes situações, como o controle do descarte de rejeitos radioativos, a disposição dos resíduos sólidos e de como lidar com a possibilidade de contaminação radioativa após eventuais acidentes.

Os documentos da IAEA estabelecem critérios de liberação condicional ou incondicional dos rejeitos radioativos. Liberação incondicional significa que o rejeito respeitará níveis conservadores de proteção ao público e ao meio ambiente, muitas vezes inferiores ao critério de dose individual, que de acordo com o TECDOC-855 (IAEA, 1996) é de 10mSv/a. A liberação só poderá ser condicional, se respeitar alguns procedimentos de rota de transporte ou de destino para o material a ser liberado. Os níveis de radiação permitidos para a liberação condicional serão maiores que os da liberação incondicional. Assim sendo, dependendo das incertezas sobre o transporte ou disposição dos rejeitos, a adoção do critério de liberação incondicional será mais apropriada (IAEA, 1996).

2.6.2 Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN

A Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN é uma autarquia federal criada em 10 de outubro de 1956 e vinculada ao Ministério de Ciência e Tecnologia. Como órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e fiscalização, estabelece normas e regulamentos em

radioproteção e licença, fiscaliza e controla a atividade nuclear no Brasil. A CNEN desenvolve ainda pesquisas na utilização de técnicas nucleares em benefício da sociedade (CNEN, 2005b).

A missão da CNEN: "Garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear, desenvolver e disponibilizar tecnologias nuclear e correlatas, visando o bem estar da população", traduz a sua preocupação com a segurança e o desenvolvimento do setor, orientando sua atuação pelas expectativas da sociedade, beneficiária dos serviços e produtos (CNEN, 2005b).

A área de Radioproteção e Segurança Nuclear da CNEN visa a segurança dos trabalhadores que lidam com radiações ionizantes, da população em geral e do meio ambiente. Com esse objetivo, atua no licenciamento de instalações nucleares e radiativas; na fiscalização de atividades relacionadas à extração e à manipulação de matérias-primas e minerais de interesse para a área nuclear; no estabelecimento de normas e regulamentos; na fiscalização das condições de proteção radiológica de trabalhadores nas instalações nucleares e radiativas; no atendimento a solicitações de auxílio, denúncias e emergências envolvendo fontes de radiações ionizantes; no desenvolvimento de estudos e na prestação de serviços em metrologia das radiações ionizantes. O controle do material nuclear e radioativo existente no País também é de responsabilidade da CNEN, a fim de garantir seu uso somente para fins pacíficos. O transporte, o tratamento e o armazenamento de rejeitos radioativos são igualmente regulamentados por normas técnicas e procedimentos de controle.

A norma CNEN-NE-3.01 (2005) estabelece as diretrizes básicas de radioproteção e a norma CNEN-NN-3.03 (1998a) dita diretrizes para a certificação da qualificação de Supervisores de Radioproteção

As normas CNEN-NE-6.02 (1998), CNEN-NE-6.05 (1985) e CNEN-NE-3.05 (1996) são os documentos básicos para os serviços de medicina nuclear, pois nelas são apresentados os procedimentos, documentos, planos de proteção radiológica e programas de GRR necessários para a implantação e funcionamento dos referidos serviços. Com base nesta legislação as possíveis formas de eliminação para os rejeitos radioativos de serviços de saúde seriam:

- Armazenamento dos rejeitos radioativos de meia-vida curta (inferior a 60 dias) para decaimento e eliminação pelas vias convencionais (sistema de coleta de lixo urbano, esgotos sanitários ou atmosfera).
- Entrega dos rejeitos de meia-vida longa (superior a 60 dias) aos institutos da CNEN ou a empresas autorizadas, para tratamento e futura disposição.

Os rejeitos que não podem ser eliminados pelas vias convencionais devem ser acondicionados em embalagens que estejam de acordo com os requisitos de integridade para transporte e armazenamento por período longo. A forma de tratamento e destinação final, qualquer que seja ela, deve estar explícita no Plano de Radioproteção, para efeito de licenciamento, salvo as instalações isentas. Tratando-se de fontes seladas, como aquelas utilizadas em teleterapia, ressalta-se a necessidade de haver uma cláusula contratual entre o importador e o fornecedor da fonte, para que fique explícita a responsabilidade do fornecedor em receber a fonte de volta, após o período de uso (SILVA e CUSSIOL, 1999).

2.6.3 Normalização municipal

A lei orgânica de Belo Horizonte, de março de 1990 (Belo Horizonte, 1990) preconiza em seu capítulo III, art. 151:

“1 - O Município manterá sistema de limpeza urbana, coleta, tratamento e destinação final do lixo, observado o seguinte:

I - a coleta de lixo será seletiva;

II - o Poder Público estimulará o acondicionamento seletivo dos resíduos;

III - os resíduos recicláveis serão acondicionados para reintrodução no ciclo do sistema ecológico;

IV - os resíduos não-recicláveis serão acondicionados e terão destino final que minimize o impacto ambiental;

V - o lixo séptico proveniente de hospitais, laboratórios e congêneres será acondicionado e apresentado à coleta em contenedores especiais, coletado em veículos próprios e específicos e transportado separadamente, tendo destino final em incinerador público;

VI - os terrenos resultantes de aterros sanitários serão destinados a parques ou áreas verdes;

VII - a coleta e a comercialização dos materiais recicláveis serão feitas preferencialmente por meio de cooperativas de trabalho;”

Portanto, de acordo com a legislação de Belo Horizonte, os resíduos sólidos sépticos oriundos de instalações de saúde, incluídos neste grupo os hospitais, laboratórios e congêneres, devem ser incinerados.

A Comissão Permanente de Apoio ao Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde – COPAGRESS foi criada pela Portaria nº 3.602, de 13 de agosto de 1998, com o objetivo de implantar, implementar e acompanhar o desenvolvimento da Política de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde no Município de Belo Horizonte.

Esta comissão elaborou o Manual de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde de Belo Horizonte (Belo Horizonte, 1999) como documento referência e instrumento orientador. Este manual, direcionado para os estabelecimentos de serviços de saúde, cumpre seu papel de contribuir na formulação de uma política de gerenciamento, pedagógica e participativa, capaz de formar uma nova cultura em relação aos resíduos de serviços de saúde. Posto em circulação, o manual representa a materialização do esforço da COPAGRESS, que congrega 14 instituições renomadas, inclusive o CDTN, com representantes de elevado nível profissional e grande comprometimento com as causas da cidade. Este documento estabelece que os rejeitos do grupo C, Rejeitos Radioativos, devem ser gerenciados conforme a norma CNEN-NE-6.05 (CNEN, 1985) e a Publicação CDTN n.857/1999 (SILVA e CUSSIOL, 1999). Reitera em seu item 3.2 que cabe à CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear receber os rejeitos radioativos que requerem instalações especiais para disposição final, conforme a legislação vigente.

Em Belo Horizonte, a Superintendência Municipal de Limpeza Urbana – SMLU pode executar o gerenciamento dos resíduos de serviço de saúde na fase extra-estabelecimento de saúde, desde que seja em caráter facultativo, a seu exclusivo critério e cobrando preço público pelos serviços prestados (BELO HORIZONTE, 1999).

Ainda no município de Belo Horizonte há outros dispositivos legais nos quais a questão dos resíduos é abordada, com destaque para o Decreto nº. 10.296/2000 (Secretaria Municipal do Governo/BH) que aprova as Diretrizes Básicas e o Regulamento Técnico para apresentação e aprovação do Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde no município de Belo Horizonte (BELO HORIZONTE, 2000).

Em nenhum momento a legislação prevê a possibilidade da SMLU gerenciar rejeitos radioativos, incluindo seu transporte. Portanto, o transporte de rejeitos radioativos pelos veículos da SMLU não está previsto em lei e, se tiver de ser feito deverá atender normas da CNEN, especificamente a norma CNEN-NE-5.01 – Transporte de Materiais Radioativos (CNEN, 1988).

2.6.4 Associação Brasileira de Normas Técnicas

A NBR 10.004 tem como objetivo classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente. Porém esta norma observa que os resíduos radioativos são de competência exclusiva da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Apresenta as definições de resíduos sólidos e de suas características de risco como: periculosidade, toxicidade, teratogenicidade, mutagenicidade,

carcinogenicidade e ecotoxicidade. De acordo com o item 4.2.1.5.2 os resíduos de serviço de saúde deverão ser classificados conforme a norma ABNT NBR 12.808 (ABNT, 2004).

A NBR 12.808 (ABNT, 1993) classifica os resíduos de serviço de saúde em 3 grupos, a saber: grupo A (infectantes); grupo B (especiais, aí incluídos os resíduos radioativos, farmacêuticos e químicos perigosos) e grupo C (comuns).

2.6.5 *Legislação Federal de Saúde e Ambiental*

A Resolução RDC n. 306, da ANVISA - Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) dispõe sobre o Regulamento Técnico para o Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde e classifica os rejeitos radioativos, como grupo C, referendando a legislação específica da CNEN sobre o tema, como resumido a seguir:

O limite de eliminação para rejeitos radioativos sólidos é de 75 Bq/g, para qualquer radionuclídeo, conforme estabelecido na norma CNEN-NE 6.05 (CNEN, 1985). Na impossibilidade de comprovar-se a obediência a este limite, recomenda-se aguardar o decaimento do radionuclídeo até níveis comparáveis à radiação de fundo.

Os rejeitos radioativos gerados devem ser segregados de acordo com a natureza física do material e do radionuclídeo presente e acondicionados em recipientes adequados, etiquetados, datados e mantidos no local da instalação destinado ao armazenamento provisório destes rejeitos para futura liberação, em conformidade com a norma CNEN - NE - 6.05 - Gerência de Rejeitos em Instalações Radiativas (CNEN, 1985).

O tratamento dispensado aos rejeitos do grupo C - Rejeitos Radioativos é o armazenamento, em condições adequadas, para o decaimento do elemento radioativo, como estabelecido na norma. O objetivo do armazenamento para decaimento é manter o rejeito radioativo sob controle até que sua atividade atinja níveis que permitam liberá-lo como resíduo não-radioativo. Este armazenamento poderá ser realizado na própria sala de manipulação ou em sala específica, identificada como sala de decaimento. A escolha do local de armazenamento, considerando as meia-vidas, as atividades dos elementos radioativos e o volume de rejeito gerado, deverá estar definida no Plano de Radioproteção da Instalação, em conformidade com a norma de Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas (CNEN, 1985). Para serviços com atividade em Medicina Nuclear, o gerador deve observar ainda a norma CNEN -

NE - 3.05 - Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Medicina Nuclear (CNEN, 1996).

A Resolução nº 283, de 12 de julho de 2001, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2001) que dispõe sobre o tratamento e a destinação final dos resíduos dos serviços de saúde, estabelece em seu artigo 14 que os resíduos classificados e enquadrados como rejeitos radioativos pertencentes ao grupo C, serão gerenciados de acordo com as exigências definidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN.

2.6.6 *Legislação francesa*

Para comparação cita-se a legislação francesa, uma vez que este país é um dos mais desenvolvidos no uso da energia nuclear para fins pacíficos.

Em maio de 2000 especialistas do Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS), do Instituto Nacional da Pesquisa Agrônômica (INRA) e do Instituto Nacional da Saúde e da Pesquisa Médica (INSERM) reuniram-se e, à luz da legislação francesa e das práticas rotineiras nestas instituições, elaboraram um Guia de Gestão de Rejeitos para estabelecimentos públicos de ensino superior e de pesquisa.(ANEXO A). A ficha 3-2 deste guia trata dos rejeitos contendo radioelementos artificiais em fontes não seladas de meia-vida curta, inferior a 100 dias segundo a legislação francesa. Exemplos destes elementos são o tecnécio-99m, o iodo-123, o iodo-125 e o iodo-131, radiofármacos de uso predominante nos serviços de medicina nuclear em todo o mundo. Esta ficha preconiza no item “Filière de traitement” que eles devam ser armazenados até que sua atividade seja reduzida, podendo ser eliminados segundo a natureza do resíduo em que esteja incorporado, desde que a atividade no momento da liberação não seja superior a 1,2 vezes a radiação de fundo. Reitera ainda que ao final do período de estocagem deve-se assegurar da ausência de radiatividade e da integridade das embalagens (REPUBLIQUE FRANÇAISE, 2002).

2.7 Gerenciamento de Rejeitos Radioativos dos Serviços de Saúde – GRRSS

Uma instalação de serviço de medicina nuclear, como toda instalação que opera com material radioativo, deve ser licenciada pela CNEN. Um dos documentos que deve ser providenciado é o Plano de Radioproteção, no qual são dadas as diretrizes de proteção radiológica que serão adotadas pela instituição, de acordo com a norma CNEN-NE-3.01, incluindo o Programa de Gerência de Rejeitos Radioativos – PGRR. O Plano de Radioproteção, deve contemplar (CNEN, 1996):

- a. a identificação da instalação e de sua direção;

- b. a função, classificação e descrição das áreas da instalação;
- c. a descrição da equipe, das instalações e equipamentos do Serviço de Radioproteção;
- d. a descrição das fontes de radiação, dos sistemas de controle e de segurança e de sua aplicação;
- e. a função e a qualificação dos trabalhadores;
- f. a descrição dos programas e procedimentos de monitoração individual, das áreas e do meio ambiente;
- g. a descrição do sistema de gerência de rejeitos radioativos, estando a sua eliminação sujeita aos limites estabelecidos em norma específica;
- h. a estimativa de taxas de dose para condições de rotina;
- i. a descrição do serviço e controle médico dos trabalhadores, incluindo planejamento médico em caso de acidentes;
- j. o programa de treinamento dos trabalhadores;
- k. os níveis de referência, limites operacionais e limites derivados, sempre que convenientes;
- l. a descrição dos tipos de acidentes admissíveis, do sistema de detecção correspondente e do acidente mais provável ou de maior porte, com detalhamento da árvore de falhas;
- m. o planejamento de interferência em situações de emergência até o restabelecimento da normalidade;
- n. as instruções de radioproteção e segurança fornecidas, por escrito, aos trabalhadores;

Além disso, o Plano de Radioproteção deve descrever as atribuições da direção da instalação, do supervisor de radioproteção e dos trabalhadores da instituição.

Legalmente, cabe aos proprietários ou responsáveis pela instituição a responsabilidade de gerenciar seus rejeitos desde a geração até a disposição final. Esta responsabilidade não se exime mesmo quando os serviços de coleta, de tratamento e de disposição final dos rejeitos sejam executados pela administração pública ou empresas privadas, ou seja, a figura jurídica da coresponsabilidade estará sempre presente (CUSSIOL, 2000).

A gerência de rejeitos é o conjunto de ações cuidadosamente planejadas que são aplicadas nas sucessivas etapas que vão desde a geração até a disposição final dos rejeitos, a saber:

A minimização é uma estratégia fundamental no gerenciamento. Baseia-se na adoção de medidas que possibilitem a redução do volume e/ou a periculosidade do rejeito.

O manuseio dos RR deve ser feito por pessoas treinadas e equipadas com todos os EPIs necessários, conforme descrito no PGRR aprovado para a instalação. Para fins de radioproteção os trabalhadores devem estar cientes dos riscos das radiações ionizantes e devem atender também às condições para os fatores de redução de doses a saber: limitar ao mínimo o tempo de exposição, manter-se a uma distância segura da fonte da radiação e utilizar blindagens, sempre que necessário. Em situações que exijam a exposição à radiação e não se possa contar com uma blindagem devem-se utilizar, da melhor forma possível, os fatores tempo de exposição e distância.

Os RSS devem ser segregados na origem e de acordo com suas características físicas, químicas, biológicas e radiológicas. Sob o ponto de vista radiológico, devem ser segregados por radionuclídeo e de acordo com a meia-vida. Os objetivos da segregação são: impedir a contaminação de grande quantidade de resíduos, evitar exposições desnecessárias do trabalhador, facilitar a ação em casos de acidentes ou emergências, racionalizar os custos com tratamento e disposição (CUSSIOL, 2000).

O acondicionamento tem como finalidades principais minimizar o risco de exposição dos trabalhadores aos resíduos perigosos, facilitar seu manejo seguro e permitir a identificação imediata dos mesmos. Os rejeitos radioativos devem ser acondicionados conforme estabelecido no plano de radioproteção aprovado pela CNEN para o estabelecimento.

A coleta e o transporte consistem em operações de recolhimento dos rejeitos nos pontos de geração e sua transferência até o local de armazenamento intermediário para decaimento. Têm como metas evitar o acúmulo local de resíduos e prevenir acidentes e incidentes. Já a coleta e o transporte final, consistem no recolhimento e transporte dos resíduos até o local de disposição final (CUSSIOL, 2000).

Conforme Silva e Cussiol (1999), no Brasil, os estabelecimentos prestadores de serviços de saúde são considerados pequenos geradores de rejeitos radioativos, quando comparados a outros setores da sociedade que utilizam a tecnologia nuclear. Por apresentarem em sua maioria

radionuclídeos de meia-vida curta, esses rejeitos devem ser armazenados em local adequado e com segurança até que a atividade decaia aos níveis dos limites de eliminação autorizados ou estabelecidos em norma, para que possam ser gerenciados como os outros resíduos não-radioativos de serviços de saúde.

O armazenamento é a contenção temporária dos rejeitos em área específica que atenda aos requisitos básicos de segurança. A integridade das embalagens deve ser mantida. Dependendo do tamanho da instituição o rejeito poderá ser armazenado inicialmente nas “Salas de Resíduos”, perto do local gerador para depois ser transportado até o “Abrigo de Resíduos”, interface entre a instituição e o sistema de coleta externo (ABNT, 1993). Como a previsão legal de descarte é do tipo incondicional nenhuma medida de radiação está prevista no local de armazenamento externo, ou “abrigo de resíduos”.

Os rejeitos radioativos de meia-vida curta ($t_{1/2} < 60$ dias) devem ser armazenados para decaimento, até que possam ser tratados e destinados como resíduos comuns, ou seja, quando a atividade for $\leq 7,5 \times 10^4$ Bq/kg, e os de meia-vida longa devem ser devolvidos para a indústria que os forneceu ou encaminhados aos institutos da CNEN (CNEN, 1985 e CNEN,1996).

A forma de tratamento e destinação final, quaisquer que sejam elas, devem estar explícitas no Plano de Radioproteção, para efeito de licenciamento, salvo as instalações isentas (SILVA & CUSSIOL, 1999).

Os serviços de Medicina Nuclear devem prover um local para armazenamento de rejeitos radioativos, conforme o item 4.3 e 4.3.4 da norma CNEN-NE-3.05 (CNEN, 1996):

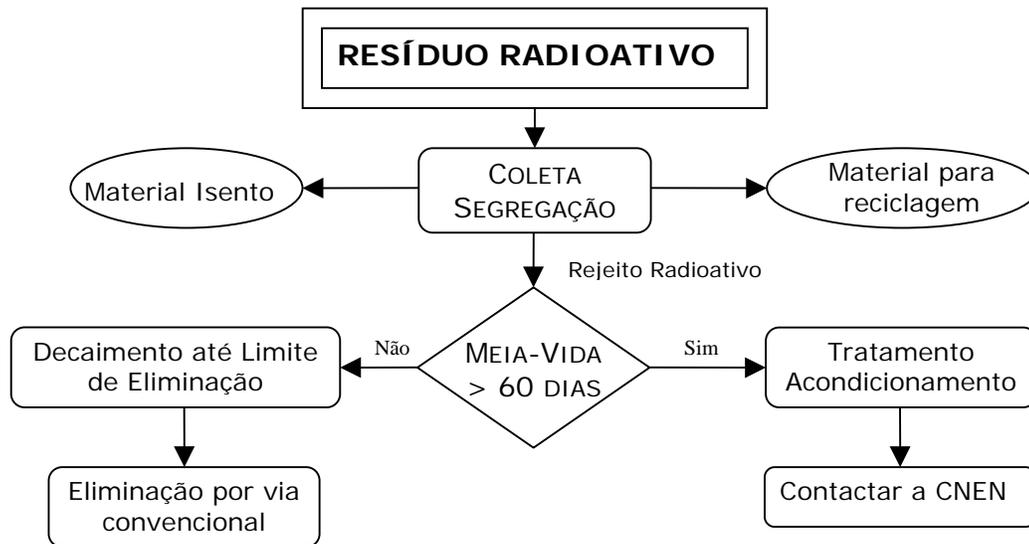
“O local para armazenamento de rejeitos radioativos deve ser constituído de compartimentos que possibilitem a segregação destes por grupo de radionuclídeos com meias-vidas próximas e por estado físico. Deve, ainda, possuir blindagem adequada, ser sinalizado e localizado em área de acesso controlado”.

As atividades iniciais e remanescentes e as meias-vidas físicas dos radioisótopos devem ser consideradas para estabelecer o tempo necessário de armazenamento para rejeitos radioativos.

Antes da liberação destes materiais deve ser retirada qualquer indicação da presença de radiação nos embalados ou embalagens, tais como, símbolos, rótulos, etiquetas ou similares (CNEN, 1985 e CNEN,1996).

Na FIG. 23 apresenta-se um fluxograma básico de gerência de rejeitos radioativos, no qual são indicadas as possíveis rotas de eliminação dos rejeitos procedentes de instalações radioativas.

23 -



Figura

Fluxograma básico de gerência de rejeitos radioativos.

Fonte: SILVA e CUSSIOL, 1999.

2.7.1 Limites para liberação de rejeitos radioativos

A literatura mundial é praticamente unânime na questão da liberação de RR para o meio ambiente. Os níveis de radioatividade no rejeito devem ser indistinguíveis da radiação de fundo do meio ambiente. A legislação francesa é uma exceção considerando 100 dias para o limite de meia-vida curta e estabelecendo o limite de 1,2 da radiação de fundo para liberação.

“Ils peuvent être éliminés comme des déchets chimiques, biologiques ou des DIB selon la nature du déchet dans lequel le radioélément est incorporé, sous réserve que la mesure lors de l’élimination ne s’écarte pas de 1,2 fois du bruit de fond de la sonde” (REPUBLIQUE FRANÇAISE, 2002).

“Eles podem ser eliminados como os rejeitos químicos, biológicos ou os rejeitos industriais comuns (DIB), segundo a natureza do rejeito ao qual o radioelemento está incorporado, assegurando que a medida da atividade no momento da eliminação não exceda 1,2 vezes a radiação de fundo do local” (REPUBLIQUE FRANÇAISE, 2002).

Considera-se meio ambiente todo o lugar fora das áreas restritas e controladas. Portanto quando o RR sai do departamento médico ou de pesquisa, em que foi gerado e estava armazenado, e é transportado para o local de armazenamento final dos RSS, já deve estar em conformidade com níveis ambientais. Assim sendo, um RR só pode sair da área de armazenamento quando houver comprovação de que não é mais rejeito, mas apenas resíduo, com

dose indistinguível da radiação de fundo. No Brasil, a norma CNEN-NE-6.05 preconiza: “A eliminação de rejeitos sólidos no sistema de coleta de lixo urbano deve ter sua atividade limitada a $7,5 \times 10^4$ Bq/kg ($2\mu\text{Ci/kg}$)” (CNEN, 1985).

2.8 Disposição final dos resíduos de serviço de saúde

Os RRSS após o prazo estabelecido para o decaimento devem ser destinados como RSS comuns, respeitadas as limitações de periculosidade (BRASIL, 2004; COUTO et al, 2003).

De acordo com Fonseca (1999), citado por Cussioli (2000), para a destinação final dos resíduos existem métodos de disposição no solo recomendáveis sanitária e tecnicamente e outros não. Os métodos mais comuns são:

- aterro sanitário;
- aterro controlado e
- lixão.

Na norma NBR 8.419 (ABNT, 1984) define-se aterro sanitário como uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores, se for necessário.

A área destinada ao aterro sanitário, após estudos geológicos, deve ser impermeabilizada e protegida dos efeitos da chuva. Os líquidos percolados devem ser captados e tratados. Os gases liberados durante a decomposição também devem ser captados e podem ser queimados ou mesmo utilizados como fonte de energia. A área do aterro deverá ser cercada e ter o acesso controlado e a quantidade de lixo depositado pesada (AMBIENTE BRASIL, 2004).

O aterro controlado é semelhante ao aterro sanitário, porém difere deste pela falta de impermeabilização e pelo não tratamento do chorume e dos gases gerados. Neste tipo de aterro a qualidade das águas subterrâneas pode ser comprometida (AMBIENTE BRASIL, 2004).

O lixão é um local onde há uma inadequada disposição final dos resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo sem medidas de proteção ao meio ambiente. Usualmente este local tem livre acesso de catadores de lixo e animais. Ainda hoje é a forma mais comum de destinação de resíduos sólidos (AMBIENTE BRASIL, 2004).

Em Belo Horizonte os RSS são destinados a Central de Tratamento e Destinação final de Resíduos Sólidos da BR-040, onde se localiza o aterro sanitário.

2.9 Estudos teórico-experimentais já realizados

A gestão de resíduos sólidos é hoje uma das questões que mais preocupam autoridades de todo mundo, tendo sido pauta privilegiada da Urbis 2003, feira e congresso internacional da cidade de São Paulo. Neste evento esteve presente inclusive representação da ONU (BOLSA DE RESÍDUOS, 2003).

A legislação e diversos trabalhos apontam que a gestão dos recursos e conseqüentemente a qualidade do gerenciamento será mais eficiente com a participação da comunidade. Em Belo Horizonte o orçamento participativo abre espaço para a população atuar em questões ambientais e de saneamento (PBH, 2003).

Inúmeros estudos fazem referência à legislação e a orientações teóricas sobre gerenciamento de resíduos de serviço de saúde, mas poucas publicações são encontradas sobre trabalhos experimentais de rejeitos radioativos de serviço de saúde. O assunto rejeito radioativo é pouco discutido na maioria das publicações encontradas, sendo na maioria apenas citado como resíduo do grupo C. A ênfase preponderante é sempre dada ao aspecto infectante dos resíduos de serviço de saúde (BOLSA DE RESÍDUOS.SP, 2003; IBPS, 2003; FASSINA et al.,1998 e MATTOS et al, 2004).

Um grupo de pesquisadores da UNIFESP de São Paulo desenvolveu um estudo comparativo entre diferentes métodos de gerenciamento de tecnécio-99 gerado em serviços de medicina nuclear em que concluiu que os tempos de armazenamento estimados para resíduos sólidos acondicionados em sacos variou de 67,9 horas a 89,3 horas até atingirem o valor legal de liberação (MATTOS et al, 2004a).

Este mesmo grupo desenvolveu um banco de dados para informatização do gerenciamento dos rejeitos radioativos do complexo UNIFESP/Hospital São Paulo. O banco de dados facilita o levantamento de dados estatísticos e possibilita um efetivo gerenciamento dos rejeitos gerados e a criação de um inventário destes rejeitos (MACIEL e MEDEIROS, 2004).

Caetano (2004) fez uma revisão bibliográfica em que resume a legislação aplicável ao tratamento e disposição final dos resíduos de serviços de saúde. Verificou que segundo as resoluções CONAMA números 05/1993 e 283/2001 (BRASIL, 1993, 2001) e Resolução RDC número 33 da ANVISA de 2003 (BRASIL, 2003), os resíduos do grupo C – Rejeitos Radioativos

– devem ser gerenciados segundo exigências definidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, especificamente as Normas CNEN-NE- 6.05 (CNEN, 1985) e CNEN-NE-3.05 (CNEN, 1996). Brito (2000) aborda a coleta seletiva de resíduos como uma alternativa para a redução do volume de lixo enviado ao solo para deposição. Ele pretende, através de abordagens educativas, despertar nas pessoas envolvidas com a geração de rejeitos e, em especial, com os resíduos de serviços de saúde, uma consciência crítica sobre a sua responsabilidade como geradores de resíduos e poluidores do meio ambiente.

Cussioli (2000) estudou o gerenciamento intra-hospitalar de resíduos de serviços de saúde com o objetivo de otimizar todas as operações que compõem um sistema de gerenciamento interno de resíduos, de forma a melhorar o desempenho ambiental de um hospital público de Belo Horizonte e, também, os aspectos ocupacionais químicos, biológicos, de exigência de esforço físico excessivo/postura inadequada e de acidentes. Concluiu-se que é premente a necessidade de investir na melhor formação dos profissionais da área de saúde, a fim de alcançar as mudanças de condutas consideradas ocupacional e ambientalmente nocivas e, também, de investir em programas de gerenciamento que, com certeza, requerem verba específica. Como conclusão final, seu trabalho permitiu verificar que as legislações e normas vigentes necessitam ser revistas e reformuladas à luz de pesquisas aplicadas, as quais dariam suporte técnico e científico para o delineamento de uma política nacional de gerenciamento de resíduos que atenda às necessidades reais de segurança e de saúde ocupacional e ambiental, compatíveis com a realidade econômica de cada região geográfica do Brasil.

Pesquisadores do Instituto de Engenharia Nuclear – IEN – CNEN/RJ desenvolveram um Monitor de Rejeitos Hospitalares (MRH) que fornece uma indicação de alarme quando o nível de radiação do rejeito radioativo sólido, a ser liberado por hospitais, clínicas e laboratórios para o serviço de coleta de lixo urbano, ultrapassa um valor previamente estabelecido como nível de radiação máximo para liberação, com base na norma CNEN-NE-6.05 (OLIVEIRA et al., 2002).

O equipamento MRH é composto de um monitor de radiação acoplado a uma sonda detectora de iodeto de sódio dopado com tálio [NaI (Tl)]. O tempo de resposta deste monitor é de 1 segundo, o que o torna capaz de efetuar monitoração instantânea. O monitor foi instalado no Hospital Albert Einstein em São Paulo. Durante 60 dias em que o monitor foi avaliado neste hospital o alarme foi acionado em 11 oportunidades, nas quais foi constatado que os rejeitos

radioativos gerados por procedimentos de Medicina Nuclear estavam sendo liberados antes do tempo de decaimento necessário (OLIVEIRA et al., 2002).

Uma visita técnica realizada a CAVO SERVIÇOS E MEIO AMBIENTE (CAVO, s.d.), empresa responsável pela gestão total de resíduos de serviços de saúde em São Paulo confirmou informes de que estavam chegando à central de tratamento da empresa uma quantidade significativa de caminhões contendo RR, o que a obrigou a utilizar um detector do tipo Geiger para monitorar o conteúdo dos caminhões que chegavam. Caminhões que apresentassem contagens acima de 10.000 cps eram retidos em quarentena.

Segundo Alvim (2003), responsável pelo gerenciamento das instalações, após o monitoramento dos caminhões a incidência de positividade estava diminuindo e que a empresa coletora de RSS, também terceirizada, estava monitorando o conteúdo dos contêineres de RSS na origem, não coletando aqueles que contivessem RR.

Evdokimoff e colaboradores (1994) pesquisaram, usando cintilômetros, a presença de rejeitos radioativos nos resíduos sólidos comuns e de serviços de saúde do Hospital Central da cidade de Boston, nos Estados Unidos. Os resíduos sólidos comuns e os RSS foram monitorados com cintilômetros de cristal de iodeto de sódio. O material era considerado radioativo quando a contagem obtida excedia em duas vezes a contagem da radiação de fundo do local. Critério semelhante era adotado pelos aterros sanitários regionais. No estado de Massachussetts os aterros sanitários monitoram os RSS com detectores e rejeitam aqueles que apresentam material radioativo, inclusive excreta de pacientes, que pela lei, como no Brasil, poderiam ser descartados no sistema público de esgoto (CNEN, 1996). Para a caracterização de rejeito radioativo a atividade considerada como duas vezes a radiação de fundo foi de 96 kBq (2,6 γ Ci) para o Tc-99m a 30 cm dos embalados. Quando possível o radionuclídeo foi identificado utilizando-se um analisador multicanal, também de iodeto de sódio. O radionuclídeo mais comumente encontrado foi o tecnécio-99m. Durante um período de três meses, nos quais foram realizados 650 procedimentos de MN no hospital, foi detectada radioatividade em aproximadamente 20% das campanhas diárias nos materiais já preparados para o transporte externo. Não foi identificada nenhuma mistura de radionuclídeos. Limitações de tempo, espaço e segurança não permitiram o estudo de todos os embalados positivos para radioatividade. Evdokimoff e colaboradores (1994) concluíram que há benefícios no monitoramento radiológico, tanto do lixo hospitalar, como dos resíduos resultantes das atividades específicas de serviços de saúde, o que levaria a uma redução

dos riscos de exposição dos trabalhadores, da contaminação ambiental e também poderia localizar uma fonte radioativa extraviada, o que é uma ocorrência muito rara, mas possível. As medidas de controle preconizadas pelos autores são um gerenciamento integrado com troca de informações e experiências entre os responsáveis pela geração dos RSS e as instituições de disposição final. Como consequência dos dados obtidos na pesquisa, o Hospital Central de Boston instalou detectores para monitoramento dos resíduos sólidos comuns e também dos resíduos de serviços de saúde do hospital, antes dos mesmos serem disponibilizados para o sistema de coleta e disposição final.

Beretta e colaboradores (1997) avaliaram os impactos causados pelo manuseio, transporte, tratamento e disposição de RRSS ao meio ambiente e trabalhadores. Concluíram que não havia necessidade de monitoramento dos RSS comuns, mas que seria aconselhável um programa de monitoramento aleatório, com ênfase no estudo dos resíduos advindos dos departamentos com maior probabilidade de existência de resíduos radioativos.

Restori e Borrini (1994) fazendo referência aos trabalhos de Evdokimoff e colaboradores (1993), colocam que o problema de recusa pelos aterros sanitários em receber RSS contendo rejeito radioativo também existe na cidade de Parma na Itália, inclusive já tendo ocorrido na “Azienda Ospedaliera di Parma”, hospital em que trabalham. Aqueles autores salientam que é importante, além do monitoramento dos embalados antes da liberação para transporte e coleta, identificar a origem dos RSS contendo rejeitos, inclusive com a colocação de etiquetas que possam identificar a origem dos RR, o que auxiliaria na modificação de condutas inadequadas de gerenciamento.

Os trabalhos experimentais encontrados na literatura foram realizados dentro das instituições hospitalares ou similares nas quais são utilizados radiofármacos, na tentativa de eliminar ou minimizar o problema da liberação de resíduos radioativos para o sistema de coleta e disposição final (EVDOKIMOFF, 1993; RESTORI e BORRINI, 1994; CUSSIOL, 2000; CAETANO, 2004; MATTOS, 2004).

Na pesquisa bibliográfica realizada não foram encontradas publicações com referência a trabalhos experimentais realizados nas fases de transporte e disposição final dos RSS.

3. METODOLOGIA

Para se atingir o objetivo formulado, o trabalho experimental foi realizado em três etapas:

- Estudo do sistema de coleta e disposição final dos Resíduos de Serviços de Saúde - RSS do município de Belo Horizonte. Foram analisados documentos da Superintendência Municipal de Limpeza Urbana - SMLU, como planilhas, mapas e roteiros de coleta, além da realização de visitas técnicas à Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte, localizada na BR-040 e à sede da SMLU em Belo Horizonte;
- Seleção e calibração dos equipamentos. Os detectores foram selecionados considerando dados da literatura e os conhecimentos e a experiência dos pesquisadores do CDTN. Optou-se por detectores por cintilação que permitiriam identificar pequenos aumentos dos níveis de radiação em relação à “radiação de fundo” e também determinar o radiofármaco gerador da mesma;
- Medidas de campo. Foram utilizados os detectores selecionados para avaliar a presença de atividade radioativa acima da radiação de fundo no aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte – CTRS BR – 040. As medidas foram feitas no conteúdo de caminhões de RSS que chegavam e eram descarregados neste aterro.

3.1 *Sistema de Coleta e Disposição de RSS da SMLU – Belo Horizonte*

Inicialmente, foi feito o estudo da dinâmica de coleta, transporte e disposição final dos resíduos de serviços de saúde em Belo Horizonte.

A Central de Tratamento de Resíduos Sólidos – CTRS BR-040 está localizada no km 531 da BR-040 – Jardim Filadélfia, região noroeste de Belo Horizonte, ocupando uma área total de 145 hectares. A CTRS BR-040 tem como finalidade receber, tratar e dispor de forma definitiva o lixo gerado no Município de Belo Horizonte. Na FIG. 24 é apresentada uma vista geral da CTRS BR-040. Dentre as unidades que fazem parte dessa central, as principais são o aterro sanitário, a unidade de compostagem, o sistema de balanças, a unidade de educação ambiental, o departamento de transporte e os escritórios administrativos.



FIGURA 24 – Vista geral da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte – CTRS BR-040.

A CTRS BR-040 aceita apenas resíduos do município de Belo Horizonte. As empresas geradoras particulares devem cadastrar-se previamente e pagar tarifas de acordo com uma tabela de preços públicos (PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 2004).

No Aterro Sanitário os RSS são depositados sobre o solo, compactados por tratores e cobertos por terra ao final de cada dia, visando minimizar os impactos ambientais negativos.

O sistema de balanças fica localizado na entrada da CTRS BR-040. É composto por três balanças interligadas que possibilitam o controle e registro das categorias e quantidades de resíduos que adentram na Central, como mostrado na FIG. 25.



FIGURA 25 – Sistema de balanças com veículo transportador de RSS no momento da pesagem.

O uso de áreas para tratamento de resíduos pode levar a impactos ambientais. O plano de monitoramento da CTRS BR-040 consiste no acompanhamento constante da evolução do sistema de tratamento e disposição final com o objetivo de minimizar impactos ambientais negativos. O monitoramento ambiental visa acompanhar as condições do meio físico em função do uso do solo. São monitoradas a qualidade do ar, das águas superficiais e subterrâneas. O monitoramento da operação objetiva a avaliação da eficiência do processo de tratamento dos resíduos, sendo também um instrumento para a detecção de eventuais falhas que possam provocar acidentes e, conseqüentemente, impactos ambientais negativos. São monitorados líquidos percolados, gases, nível da manta líquida, grau de compactação e recalques.

O monitoramento contínuo dá subsídio para uma operação adequada e adoção de medidas corretivas. Na CTRS BR-040 não há nenhum tipo de monitoramento radiológico.

A Prefeitura de Belo Horizonte emprega, nos serviços de limpeza urbana, 4.971 pessoas (outubro de 2004). O aterro da BR-040 recebeu em 2004, 1.258.482,48 toneladas de resíduos sólidos. Deste total 12.611,03 (1%) foram Resíduos de Serviço de Saúde (BATISTA, 2005; PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 2004b).

Os Resíduos de Serviços de Saúde são os gerados em estabelecimentos prestadores de serviços de saúde, tais como: hospitais, casas de saúde, sanatórios, prontos-socorros, clínicas médicas e veterinárias, postos de saúde, laboratórios e farmácias. Os RSS devem ser apresentados para a coleta previamente acondicionados em sacos plásticos resistentes ou em contêineres especiais. São coletados e transportados em veículos compactadores e/ou veículos leves adaptados exclusivamente para a atividade. Em outubro de 2004 foram coletadas 1.052 toneladas de resíduos de serviços de saúde.

O sistema de coleta dos RSS compreende as etapas: saída da garagem, coleta nos estabelecimentos geradores, seguindo-se roteiros previamente estabelecidos até a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR-040 – CTRS BR-040, pesagem, descarga no Aterro Sanitário e saída para outras viagens, que chegam a ser em número de três para o caminhão que faz as coletas do roteiro A. Ao final das viagens do dia os caminhões são lavados e seguem para pernoite na garagem da SMLU.

Na FIG. 26 mostra-se um caminhão no momento da descarga dos RSS na frente de trabalho do aterro sanitário.



FIGURA 26 – Descarga de RSS no aterro sanitário.

Os veículos que fazem a coleta e o transporte dos RSS são caminhões, furgões e motocicletas. Os caminhões são brancos, com a carroceria fechada e equipada com compactador e apresentam sinalização e identificação específica para RSS (FIG. 27). Para esta coleta a SMLU possui frota própria e empresas terceirizadas. Em 2004 das 12.611,03 toneladas de RSS aterradas na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da Br-040, 11.287,42 toneladas (89%) foram coletadas por veículos da SMLU. As medições foram realizadas somente no conteúdo dos caminhões da frota oficial da SMLU (BATISTA, 2005).



FIGURA 27 – Caminhão e furgão coletores de RSS.

A Superintendência Municipal de Limpeza Urbana - SMLU disponibilizou os dados dos 5 roteiros de coleta de RSS existentes em Belo Horizonte, mostrados na FIG. 28. Co-existem os sistemas de coleta manual e basculante dos contêineres, que já operam em alguns hospitais maiores, sendo este último a forma preconizada para otimizar a coleta.



FIGURA 28 – Roteiros de coleta de RSS do município de Belo Horizonte (PBH, 2004).

No aterro, os RSS que chegam em veículos específicos (caminhões e furgões) são depositados e cobertos por resíduos urbanos comuns. A seguir este conjunto é compactado, sempre havendo resíduos comuns entre os RSS e a superfície de compactação.

O estudo da documentação gerou a TAB. 5, em que foi sumariado o número de estabelecimentos atendidos em cada roteiro e o número de locais onde haveria a possibilidade de ser gerado rejeitos radioativos (RR).

TABELA 5 - Número de possíveis geradores de RRSS por roteiro estabelecido pela SMLU.

ROTEIRO	NÚMERO DE LOCAIS DE COLETA	NÚMERO DE LOCAIS GERADORES (PROVÁVEIS)
A	45	2
B	46	4
C	36	3
D	32	1
E	33	3
Total	192	13

BASE: junho de 2004

Obtiveram-se também os dados sobre roteiros, horários e periodicidade da coleta dos resíduos dos serviços de saúde para cada roteiro e, a partir destes dados foi estabelecida a

metodologia preliminar para o trabalho de campo. No Anexo B é apresentado um exemplo dos locais e itinerários de coleta dos RSS em Belo Horizonte.

O apêndice A foi elaborado a partir das informações sobre a dinâmica de coleta nos diversos roteiros e nele são apresentados dados de identificação dos caminhões, horário de início dos trabalhos de coleta do dia e os horários prováveis de coleta em cada estabelecimento e de chegada à central de balanças da CTRS BR-040, onde os dados sobre peso líquido e bruto dos caminhões são impressos em ticket específico.

Foi feito o planejamento inicial de como os dados experimentais poderiam ser obtidos na CTRS BR-040, o que incluiria acesso à pesagem dos caminhões e mensurações externas dos veículos, seguidas de mensurações diretamente sobre os RSS.

Foi feito o acompanhamento de veículos coletores de RSS e registro de dois tipos de veículos de coleta (caminhão e furgão), bem como “da frente de aterro” (FIG. 29), nome que recebe o local onde os resíduos sólidos (RS) são descarregados, inclusive os RSS.



FIGURA 29 – Frente de Aterro.

3.2 Seleção e Calibração dos Equipamentos

A segunda etapa foi a definição dos equipamentos adequados para as medidas que seriam realizadas na aterro sanitário e que pudessem confirmar ou afastar a suspeita da presença de rejeito radioativo nos RSS de Belo Horizonte. Eles deveriam ser portáteis, precisos e robustos, bem como ter sensibilidade suficiente para o trabalho proposto.

O detetor mais indicado para a pesquisa, na qual esperavam-se valores de radiação pouco maiores do que aqueles da radiação de fundo, foi o detetor por cintilação, mais sensível e capaz de fornecer, inclusive, o espectro da radiação, o que permite identificar o radionuclídeo.

Para as pesquisas de varredura do conteúdo dos caminhões foi utilizado o SPP-2 da SRAT, fabricado na França e otimizado no setor de proteção radiológica do CDTN para torná-lo mais sensível, o que permitiu avaliar contagens na faixa de 50 a 15.000 contagens por segundo (cps).

O cintilômetro SPP-2 da SRAT é robusto, totalmente metálico e apresenta 5 faixas de leitura. A primeira vai até 150 cps. A segunda avalia de 0 a 500 cps. A terceira de 0 a 1.500 cps. A quarta faixa cobre de 0 a 5.000 cps e a última de 0 a 15.000 cps. Este detetor tem uma resolução máxima de contagem de 15.000 cps. A partir de 15.000 cps a avaliação é qualitativa e não quantitativa, isto é: sabe-se que a atividade está acima de 15.000 contagens, mas não é possível sua quantificação.

Na FIG. 30 é mostrado o cintilômetro SPP-2 na sua embalagem de proteção e de transporte e em operação, respectivamente.



FIGURA 30 – Cintilômetro SPP-2 na embalagem e em operação.

Para a determinação do radionuclídeo selecionou-se um cintilômetro acoplado a um analisador multicanal. Este equipamento, o nanoSPEC, é portátil (450g), sensível aos níveis de radiação pesquisados e capaz de fornecer o espectro de radiação diretamente. Possui uma porta serial para ser conectado a um microcomputador convencional. Ele pode ser utilizado para as

medições e determinações qualitativas, informando, quando houver atividade acima do estabelecido na norma, qual é o radionuclídeo gerador da mesma.

O nanoSpec da Target é de operação complexa, dependendo de uma fonte energética interna. A medição quantitativa faz-se através de um sequenciamento de pulsos, cuja frequência aumenta proporcionalmente com a atividade. Nesta pesquisa não foi utilizado para medir a atividade e sim para identificar o espectro do radionuclídeo gerador da atividade radioativa que era constatada e quantificada pelo cintilômetro SPP-2. O “software” correspondente tem um banco de dados com os radionuclídeos e suas correspondentes energias de ativação. Pôde-se avaliar e calibrar o equipamento utilizando-se os recursos do software. A calibração inicial foi feita usando-se uma fonte de césio-137, uma vez que este radionuclídeo tem picos de energia bem característicos. Para identificação do radionuclídeo o nanoSPEC era conectado a um microcomputador e o espectro era apresentado na tela, podendo ser salvo em arquivo específico para posterior análise. Na FIG. 31 são apresentados o detector nanoSPEC e o espectro resultante de uma amostra de césio-137.



FIGURA 31– NanoSPEC conectado ao computador e mostrando o espectro do ^{137}Cs .

3.2.1 Confeção do *Fantoma*

Para que fosse possível calibrar os detetores para as concentrações de radionuclídeos e o tipo de material encontrado nos RSS no Aterro Sanitário preparou-se um *fantoma* de 2 kg e aproximadamente 20 litros, composto de um saco plástico preenchido com produtos sólidos semelhantes ao conteúdo de um volume de RSS padrão, conforme trabalho elaborado por Soares et al. (2000). Este *fantoma* teve seus seis lados marcados com letras de A a F e serviu como simulador dos rejeitos que seriam medidos no Aterro.

Como nas visitas realizadas em serviços de medicina nuclear e radiologia não foi constatada quantidade significativa de produtos líquidos, mas apenas papel e produtos algodonosos úmidos, e levando em consideração que a CTRS BR-040 não aceita para disposição final resíduos molhados (PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 2005), preparou-se o *fantoma* apenas com produtos sólidos e secos, preservando-se, no entanto, os constituintes básicos do RSS estudados por Soares e colaboradores (2000).

Na preparação do *fantoma*, substituíram-se alguns componentes de custo elevado por outros de constituição semelhante. Algodão e adesivos foram substituídos por tecidos de algodão e plástico, respectivamente. Em um saco plástico de 20 litros foram colocados materiais similares e na mesma proporção aos encontrados em RSS típico (SOARES et al., 2000; ANDRADE, 1999). Na FIG. 32 e TAB. 6 são apresentados o *fantoma*, em três posições, e sua composição, respectivamente.



FIGURA 32 – Resíduo de Serviço de Saúde Simulado (*Fantoma*).

TABELA 6 – Composição Gravimétrica do *Fantoma* elaborado no CDTN.

PRODUTO	PESO (g)	%
Borracha/Látex	446,0	22,3
Isopor	377,0	18,9
Filme	163,0	8,2
Pano	177,3	8,9
Papel	349,5	17,5
Papel alumínio	8,4	0,5
Papelão	140,5	7,0
Plástico	103,0	5,2
Vidro	234,5	11,7
TOTAL	2.000,0	100,0
VOLUME	20 litros	

3.2.2 Calibração dos equipamentos usando o *fantoma*

Para se estabelecer o conceito de rejeito radioativo, de forma que fosse possível aplicá-lo nas atividades de campo, utilizaram-se radiofármacos contendo os radionuclídeos iodo-131 e tecnécio-99m. Estes radionuclídeos foram selecionados por serem utilizados na grande maioria dos procedimentos de medicina nuclear.

Frascos contendo radiofármacos destes radionuclídeos com atividade conhecida foram colocados no interior do *fantoma* e realizaram-se medições até que a atividade da amostra atingisse o limite para liberação ambiental. No caso do *fantoma*, que pesava 2 kg, o limite de liberação seria de 150 kBq (4 μ Ci), o que equivale a 75 kBq/kg (2 μ Ci/kg), de acordo com a norma CNEN-NE-6.05 (1985). Estas medições, em cps, foram realizadas em seis pontos diferentes do *fantoma* (FIG. 32) com o cintilador SPP-2 da SRAT.

No momento em que se iniciaram as medições foram observados valores acima de 15.000 contagens por segundo em todos os pontos de medida do *fantoma*. Foram feitas medidas sequenciais considerando a meia-vida de cada radionuclídeo, ou seja, foram feitas medições a cada seis horas para o tecnécio e a cada 8 dias para o iodo. O momento exato em que os radionuclídeos atingiriam a atividade passível de liberação ambiental, de acordo com a norma CNEN-NE-6.05 (1985), foi estabelecido usando-se a equação de decaimento.

$$A = A_0 * e^{-\left(\frac{\ln 2}{T}\right)t}$$

na qual:

A = Atividade final no tempo t (Bq)

A_0 = Atividade inicial (Bq)

T = meia-vida do radionuclídeo (s)

t = tempo (s)

3.3 *Medidas de Campo*

A etapa final do trabalho experimental foi a realização das medidas de radiação nos RSS que chegavam ao Aterro Sanitário.

3.3.1 Planejamento das medidas

De acordo com as informações obtidas na CAVO (CAVO, 2003) em São Paulo sobre a presença de RR nos RSS que chegavam a central de tratamento daquela cidade esperava-se um grau reduzido de positividade para RR em Belo Horizonte.

Para que pudesse ser estabelecido com segurança o planejamento das medições e para que os resultados fossem confiáveis a Prof^a. Marta A. Freitas (FREITAS, 2003), do Departamento de Estatística da UFMG, forneceu orientação sobre a coleta e a qualidade de informações que deveriam ser obtidas junto a SMLU para a elaboração das planilhas que iriam subsidiar a pesquisa. Foi com base nesta orientação que foi feito o levantamento dos mapas de roteiros (Apêndice A), a frequência de coleta de cada um e, dentre estes, qual atende locais onde há a possibilidade de coleta de Rejeitos Radioativos. Com estas informações foi elaborado o planejamento estatístico para a realização das medidas no Aterro (Anexo C).

A partir destas informações FREITAS (2003) elaborou um planejamento que previa a mensuração da radioatividade num total de 36 caminhões que chegassem ao aterro em aproximadamente 4 semanas, de segunda a sábado, numa seqüência contínua diurna e noturna, com intervalo de 5 caminhões entre cada medida, independente de dia da semana, horário ou roteiro (ANEXO C).

Exemplo: Seria medido um caminhão que seria considerado o número 1 dos 36. A partir deste deveria ser avaliado o caminhão 6, o 12, o 18 e assim por diante até completar 36 caminhões.

3.3.2 Medidas no Aterro

Realizaram-se medições na Central de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte no período de 20 de abril a 7 de junho de 2004.

Inicialmente media-se a radiação de fundo da “frente de aterro” (local onde são despejados os resíduos). Em seguida o caminhão com os RSS despejava todo o seu conteúdo neste local. O material era nivelado e quarteado por um trator em porções de aproximadamente 60 cm de altura, comparável a altura do *fantoma* (FIG. 33 e 34).



FIGURA 33 – Caminhão despejando RSS.



FIGURA 34 – RSS quarteado pronto para a medição.

Com o cintilômetro mediam-se as contagens advindas do material e registravam-nas em um mapa. Estas medidas eram realizadas caminhando-se sobre os RSS espalhados em linhas paralelas de aproximadamente 1 metro. Neste movimento o detetor era mantido a aproximadamente 30 cm do material analisado (FIG. 35).



FIGURA 35 – Medição de varredura e detalhe das contagens

Quando se detectavam contagens pontuais muito acima da radiação de fundo e era possível segregar o resíduo gerador desta atividade, este era recolhido num saco plástico e identificava-se o radionuclídeo com o nanoSPEC. Na FIG. 36 é mostrada a avaliação com o nanoSPEC de um embalado rompido de RSS e o espectro obtido, correspondente ao radionuclídeo tecnécio-99m.



FIGURA 36 – Utilização do nanoSPEC na identificação de um espectro de ^{99m}Tc .

Mesmo nos casos de positividade significativa optou-se por não tentar identificar o estabelecimento de origem do material, por fugir ao escopo da pesquisa.

As medidas foram realizadas em todos os dias de coleta, de segunda-feira a sábado, em 25 caminhões de todos os roteiros, em pelo menos 3 caminhões de cada roteiro, abrangendo um período de amostragem de aproximadamente 8 semanas. No Apêndice B são apresentados todos os resultados destas medições.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o nanoSPEC foi feito o levantamento em amostras de radiofármacos com radionuclídeos e atividade conhecidos . Obtiveram-se os espectros de energia do ^{131}I e do $^{99\text{m}}\text{Tc}$ durante 5 minutos, os quais serviram de modelo comparativo para os picos obtidos no aterro sanitário (FIG. 37 a 39).

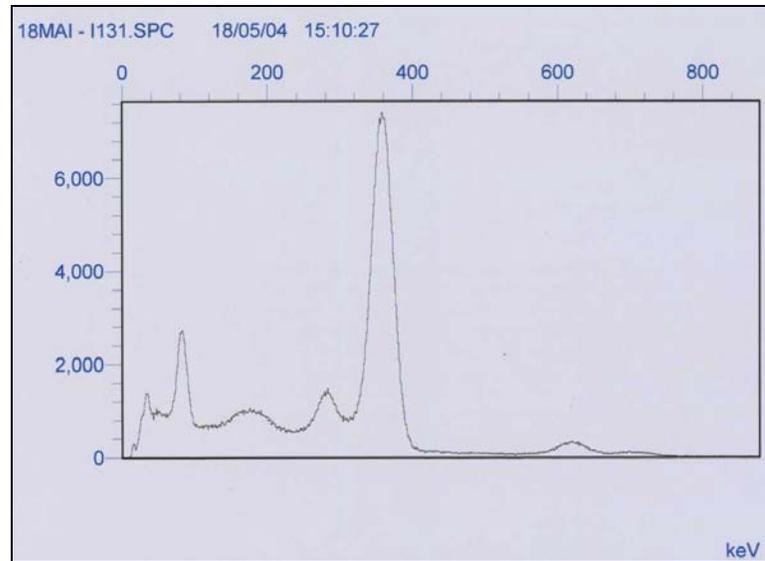


FIGURA 37 – Pico padrão experimental do iodo-131.

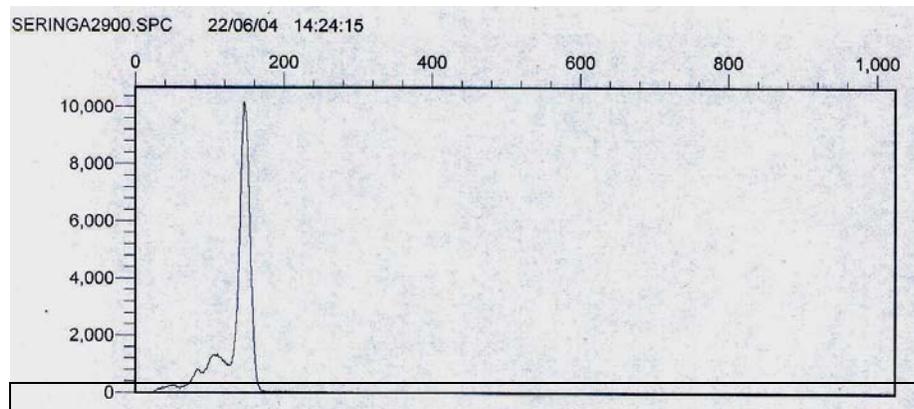


FIGURA 38 – Pico padrão experimental do tecnécio-99m.

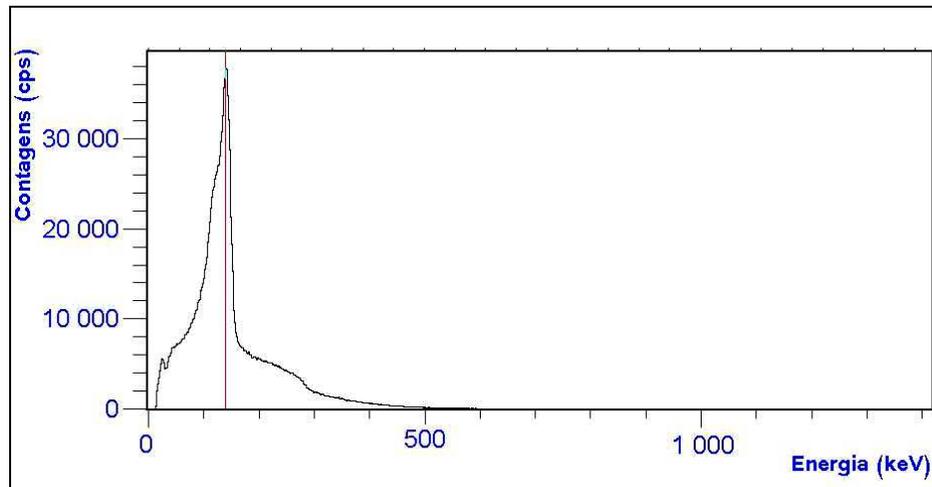


FIGURA 39 – Pico padrão experimental do tecnécio-99m, calibrado.

Os resultados das medidas para a calibração usando-se o *fantoma*, para o estabelecimento do valor de corte, acima do qual não se teria dúvida sobre a presença de rejeito radioativo, são apresentados na TAB. 7 e 8 e nas FIG. 40 a 43. Em todas as campanhas de medições foi anotado o valor da radiação de fundo, presentes nas TAB. 7 e 8 na coluna “BG.” Os valores nas tabelas incluem o valor da radiação de fundo (BG) e aqueles nas faces de A a F do *fantoma*. Nas FIG. 40 e 42 estas medidas são apresentadas graficamente em sua totalidade e nas FIG. 41 e 43, na região de interesse.

Considerando o peso do *fantoma* que é 2 kg, no momento em que a atividade era de $7,5 \times 10^4$ Bq/kg ($2\mu\text{Ci/kg}$) a amostra de tecnécio-99m apresentava 540 cps, medidas pelo cintilômetro utilizado em todas as campanhas realizadas (TAB. 7 e FIG. 40 e 41). Todas as medidas foram feitas com o detector a aproximadamente 30 cm de cada face do *fantoma*. Em situação semelhante, a amostra de iodo-131 apresentou 470 cps (TAB. 8 e FIG. 42 e 43). Estes foram os maiores valores medidos na superfície do embalado, no momento em que este apresentava atividade passível de liberação ambiental.

TABELA 7 – Resultados obtidos na medição (cps) nas faces de A a F do *fantoma* contendo tecnécio-99m.

ATIVIDADE (μCi)	TEMPO (h)	FACES						BG
		A	B	C	D	E	F	
35500,00	0,0	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	70
17752,61	6,0	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	65
8877,61	12,0	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	65
4439,46	18,0	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	65
2220,06	24,0	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	70
1110,19	30,0	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	70
555,18	36,0	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	70
138,84	48,0	14.500	13.000	13.000	7.600	5.000	7.600	70
69,43	54,0	7.500	6.000	7.400	5.000	2.500	5.000	70
34,72	60,0	4.000	3.100	3.500	2.600	1.500	2.900	70
8,689	72,0	1.100	950	1.000	750	450	750	70
4,34	78,0	600	550	600	420	270	440	70
4,00	78,71	540	480	530	350	240	400	70
3,94	78,83	500	450	500	310	210	390	70
2,17	84,0	320	260	320	210	160	250	70
0,54	96,0	150	130	150	120	100	125	70
0,27	102,0	100	90	110	90	85	90	70
0,14	108	90	85	100	85	80	80	75
0,03	120	75	75	75	75	75	75	75

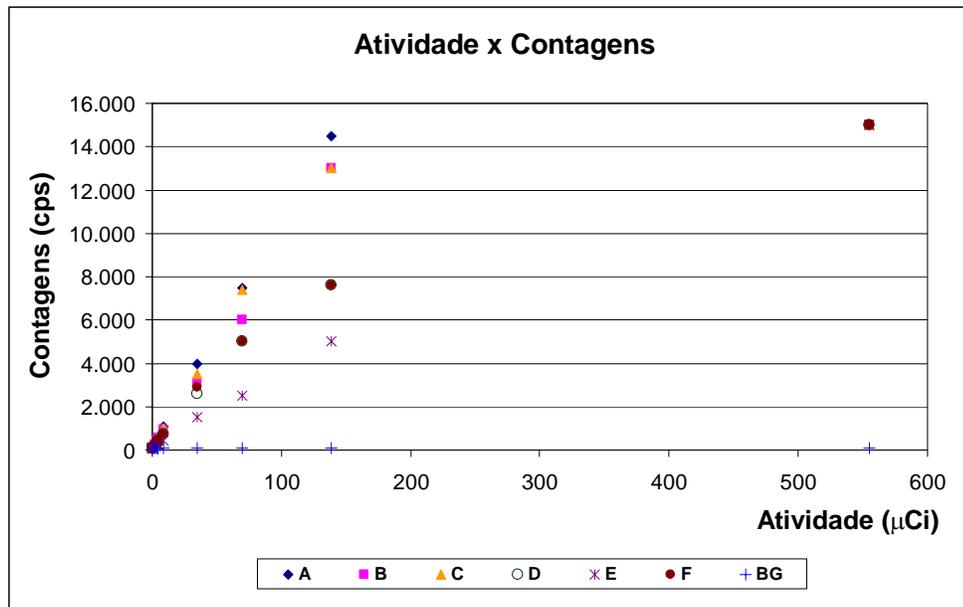


FIGURA 40 – Resultados das medidas para a calibração do *fantoma* com ^{99m}Tc realizadas com o cintilômetro SPP- 2 nas diversas faces.

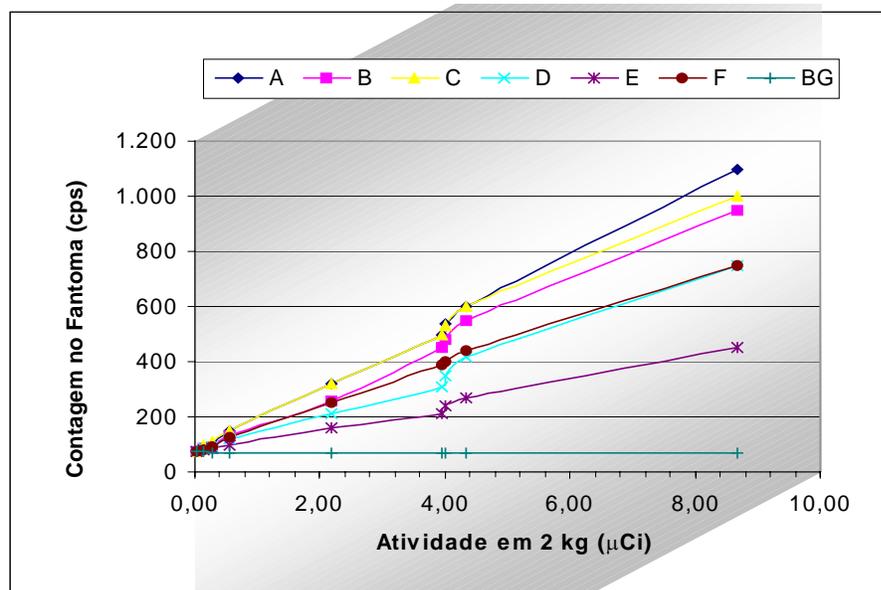


FIGURA 41 – Detalhe dos resultados das medidas para a calibração do *fantoma* com ^{99m}Tc na faixa de liberação como Resíduo de Serviço de Saúde.

TABELA 8 - Resultados obtidos na medição (cps) nas faces de A a F do *fantoma* contendo iodo-131.

ATIVIDADE (μCi)	TEMPO (h)	FACES						BG
		A	B	C	D	E	F	
350,00	0	15000	15000	15000	15000	15000	15000	70
61,01	487	7500	5000	6000	5000	2500	2500	70
16,83	846	1500	1550	1480	1400	1150	900	65
10,04	990	1100	900	800	750	600	700	70
5,52	1157	700	600	600	500	450	500	70
4,20	1233	470	450	450	300	200	200	65
1,65	1493	250	200	240	200	130	150	70

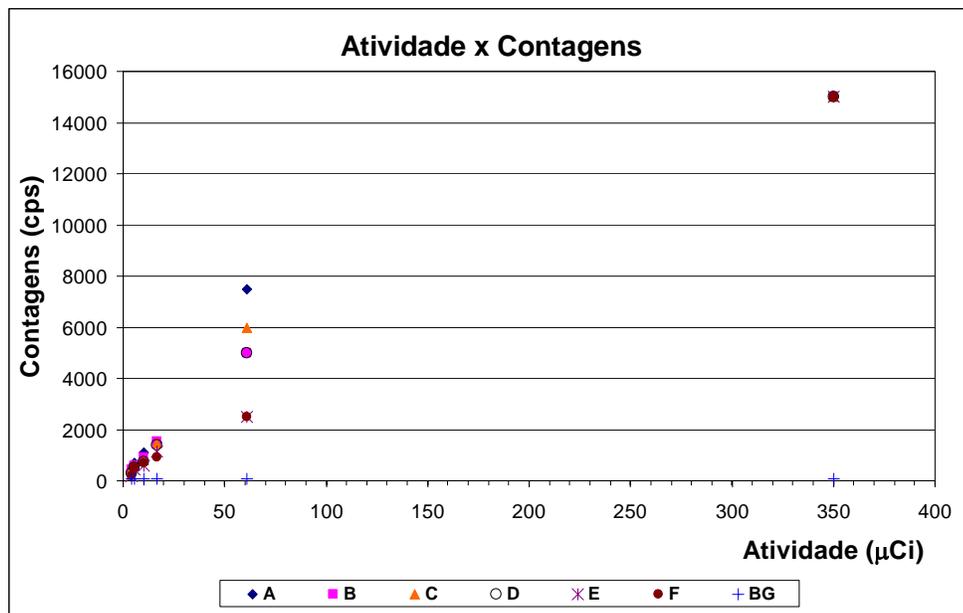


FIGURA 42 – Resultados de todas as medidas para a calibração do *fantoma* com ^{131}I realizadas com o cintilômetro SPP-2 nas diversas faces.

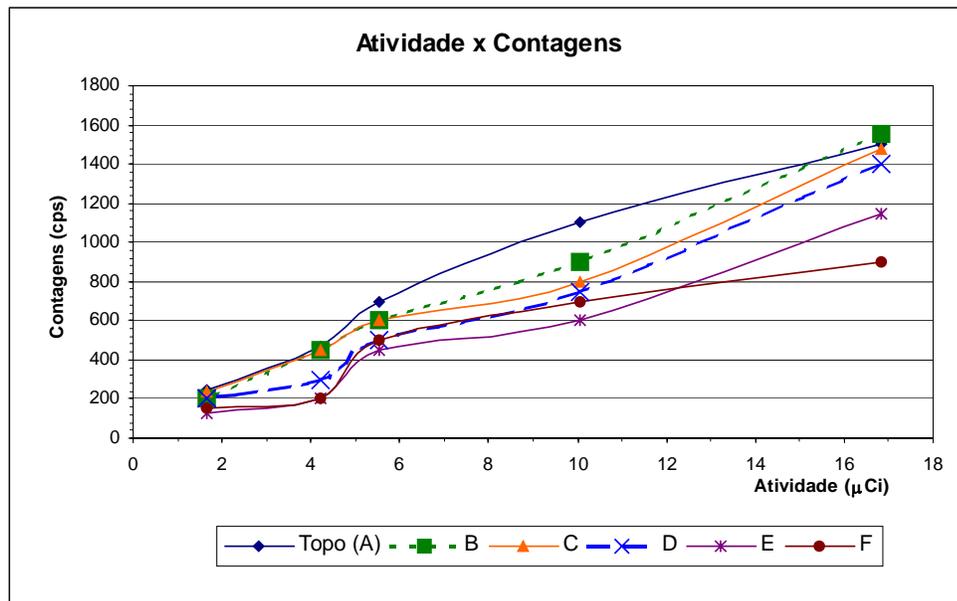


FIGURA 43 – Detalhe dos resultados das medidas para a calibração do *fantoma* com ^{131}I na faixa de liberação como Resíduo de Serviço de Saúde.

Os valores das atividades foram calculados a partir da equação de decaimento radioativo. As atividades iniciais das amostras de iodo-131 e tecnécio-99m eram de $350\ \mu\text{Ci}$ e $35.500\ \mu\text{Ci}$, e suas meias-vidas de 8 dias e 6 horas, respectivamente.

Este tempo foi de aproximadamente 78 horas para o tecnécio e 1.233 horas para o iodo. No horário previsto para liberação, as amostras apresentavam a medida máxima de 540 cps para o $^{99\text{m}}\text{Tc}$ e 470 cps para o iodo, respectivamente. Foi considerado o número de contagens por segundo obtido na face do embalado que apresentava maior atividade.

O limite de 540 cps foi estabelecido para se considerar determinado embalado de RSS como rejeito radioativo, por apresentar atividade acima do preconizado pela norma CNEN-NE-6.05. Considerando ainda a radiação de fundo máxima de 80 cps, este valor ainda é pelo menos 6 vezes acima, o que corresponde também ao conceito de rejeito encontrado na literatura internacional. Evdokimoff e colaboradores (1993) consideraram o limite máximo para liberação como sendo de 2 vezes a radiação de fundo e a legislação francesa considera o limite de 1,2 vezes a radiação de fundo. (REPUBLIQUE FRANÇAISE, 1985). A literatura ambiental mais conservadora considera como rejeito qualquer produto que apresente níveis de radiação acima da radiação ambiental.

As curvas espectrais com os picos de energia do iodo-131 e tecnécio-99m (FIG. 37, 38 e 39) obtidas na fase de calibração dos cintilômetros foram utilizadas como modelo para a identificação dos radioisótopos no aterro.

Em todas as campanhas a radiação de fundo (back-ground) foi medida com o equipamento selecionado, não só para efeitos comparativos, mas principalmente para detectar-se alguma anomalia grosseira no mesmo. A radiação de fundo esteve entre 65 e 80 cps, mesmo em regiões distintas de Belo Horizonte, como no CDTN, no aterro sanitário e na área hospitalar, como mostrado na TAB. 09. As medidas da radiação de fundo da região do aterro apresentaram valores entre 60 e 80 cps.

TABELA 09 – Medidas de radiação de fundo em diversos locais de Belo Horizonte.

LOCAL		RADIAÇÃO DE FUNDO MÁXIMA (cps)
CDTN	Portaria	65 – 70
	Prédio 7	60
ÁREA HOSPITALAR		80
ATERRO	20/04	80
	04/05	70
	05/05	80
	08/05	70
	11/05	75
	27/05	70
	28/05	70
	07/06	75

Iniciaram-se as medições seguindo o planejamento estatístico proposto, porém diante da complexidade do cronograma, dos riscos envolvidos nas medições noturnas e principalmente pela alta taxa de positividade encontrada já nas primeiras campanhas, foi elaborado outro planejamento.

Na FIG. 44 é apresentada a cópia de um comprovante de chegada de um caminhão coletor de RSS na balança da CTRS BR-040, no qual consta a data, o horário, a placa do caminhão e os pesos bruto e líquido, respectivamente do caminhão e de seu conteúdo de RSS.

SUPERINTENDENCIA DE LIMPEZA URBANA	
CNPJ: 16.673.998/0001-25	
Rua Carlos Eduardo Lott 205 - Jardim Filadelfia	
CEP : 30865-230 - Belo Horizonte - Minas Gerais	
TICKET PARA DESCARGA DE RESIDUOS SOLIDOS	
N.I ..: 1G0M5F317163320040607	
USUARIO OU EMPRESA CONTRATADA:	
SUPERINTENDENCIA DE LIMPEZA URBANA	
PLACA DO VEICULO.: GMF1053	
RESIDUO: COLETA HOSPITALAR - RSS	
DIVISAO:	
Gerencia Regional de Limpeza Urbana - GERLU - CEN	
TRO-SUL	
DESTINO: ATERRO SANITARIO BR 040	
PESO BRUTO(Kg) ..: 12940 Kg	
TARA(Kg): 9200 Kg	
PESO LIQUIDO(Kg).: 3740 Kg	
HOR. PESAGENS : Ent. (07/06/2004 17:16:33)	
Saida (07/06/2004 17:16:33)	
OPERADOR(A): 10231	

FIGURA 44 – Cópia de comprovante de entrada de um caminhão no sistema de balanças da CTRS BR-040 em 7 de junho de 2004.

As medidas eram feitas e registradas em um croqui desenhado de forma a representar as características topográficas obtidas após descarga, espalhamento, compactação e quarteamento dos RSS despejados na frente de aterro. Na FIG. 45 está exemplificada uma das campanhas de medição na qual são mostrados os RSS despejados e as medidas feitas nos diversos montes resultantes do quarteamento. Em dois deles foram encontradas contagens, em cps, acima da radiação de fundo. Em um dos montes o detector registrou 220 cps, o que corresponde a uma atividade abaixo do limite de liberação legal. No entanto no outro, foram encontrados 3 embalagens cujas contagens foram 700, 4.000 e 5.500 cps, respectivamente; todas correspondendo a atividades acima do limite legal de liberação ambiental.

No apêndice B são apresentados os protocolos e croquis de todas as medidas realizadas.

Foi medido o conteúdo de 25 caminhões provenientes dos cinco roteiros, em todos os dias da semana (de segunda a sábado), cujos resultados são sumariados na TAB. 10.

Na TAB. 11 são apresentados os resultados reunidos por roteiro.



FIGURA 45 – Croqui mostrando o resultado do quarteamento e as contagens obtidas em cada segmento avaliado.

TABELA 10 – Resultados das medidas realizadas no Aterro Sanitário de Belo Horizonte.

AValiação	DATA	RADIAÇÃO DE FUNDO (CPS)	ROTEIRO	CPS (MÁXIMO)	RADIONUCLÍDEO	PRODUTO GERADOR DA RADIAÇÃO
01	20/04/04	80	A + D*	11.000	n.d.	n.d.
02	04/05/04	60	C	100	n.d.	n.d.
03	04/05/04	65	A	11.000	n.d.	n.d.
04	04/05/04	70	B	5.500	n.d.	n.d.
05	05/05/04	80	C	>15.000	n.d.	n.d.
06	08/05/04	60	A	10.000	n.d.	Fralda
07	08/05/04	70	B	400	n.d.	n.d.
08	08/05/04	70	C	300	n.d.	n.d.
09	08/05/04	70	D	550	n.d.	Vidros
10	08/05/04	70	E	12.000	n.d.	Saco plástico
11	11/05/04	70	A	90	n.d.	n.d.
12	11/05/04	75	D	100	n.d.	n.d.
13	11/05/04	70	C	75	n.d.	n.d.
14	11/05/04	75	B	6.000	n.d.	n.d.
15	27/05/04	70	B	1.200	Tc-99m	Diversos
16	27/05/04	65	E	>15.000	Tc-99m	Vidros
17	27/05/04	65	C	6.500	n.d.	n.d.
18	28/05/04	70	D	1.850	Tc-99m	Fralda
19	28/05/04	65	B	2.350	Tc-99m	Diversos
20	28/05/04	65	E	2900	Tc-99m	Seringa
21	07/06/04	45	B	75	n.d.	n.d.
22	07/06/04	45	E	4.000	I-131	n.d.
23	07/06/04	50	B	50	n.d.	n.d.
24	07/06/04	75	A	>15.000	Picos atípicos	n.d.

* A avaliação foi feita em um volume com RSS de 2 caminhões.

n.d. = não determinado

TABELA 11 – Resumo das medidas realizadas na Central de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte.

ROTEIRO	NO. DE CAMINHÕES AVALIADOS	NO. DE OCORRÊNCIAS POSITIVAS	LEITURA MÁXIMA (CPS)
A	4	3 ou 4*	11.000
B	7	4	>15.000
C	7	2	>15.000
D	3	1 ou 2*	1.850
E	4	4	>15.000
Total	25	15	

*O conteúdo de dois caminhões, um do roteiro A e outro do roteiro D, foram misturados, impossibilitando individualizar a origem do material radioativo.

Observa-se que em todos os roteiros foi encontrada positividade, com valores acima do limite legal para rejeitos radioativos, inclusive valores acima de 15.000 cps. O perfil do radiofármaco foi estabelecido em 6 casos, por análise espectral, e revelou a presença em 5 casos do radiofármaco ^{99m}Tc e, em um caso, de ^{131}I (FIG. 46).

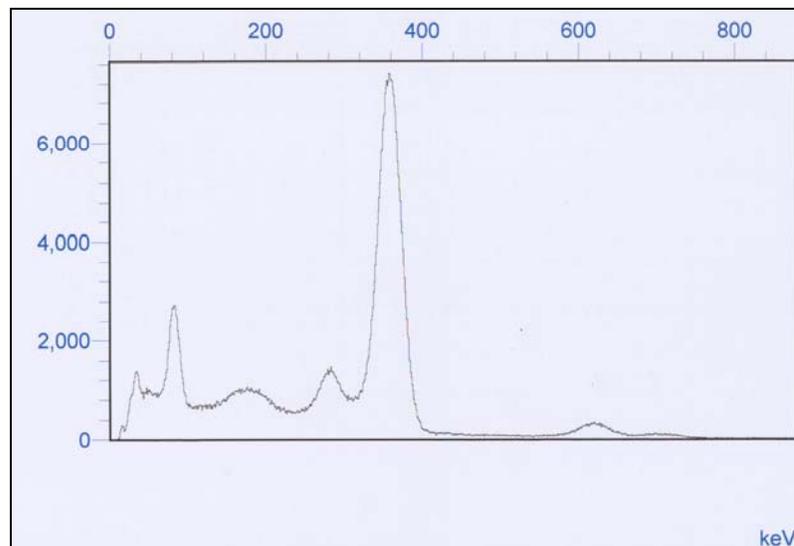


FIGURA 46 – Pico de iodo-131 encontrado em amostra de RSS no aterro sanitário.

A TAB. 12 mostra as faixas de liberação de rejeitos radioativos preconizada pela AIEA para diversos radionuclídeos, inclusive o tecnécio-99m e o iodo-131, de forma comparativa com o preconizado pela CNEN. A partir destes resultados comprovou-se que está havendo liberação não só acima do estabelecido pela norma nacional que é de 75 Bq/g, mas também pelas

recomendações da AIEA, que é de 3Bq/g para o iodo-131 e 30Bq/g para o tecnécio-99m (CNEN, 1985 e IAEA,1996).

TABELA 12 – Faixas para liberação de rejeitos radioativos.

FAIXA DE CONCENTRAÇÃO DE ATIVIDADE (Bq/g)	RADIONUCLÍDEO	VALOR REPRESENTATIVO ÚNICO	LIMITE LEGAL BRASILEIRO (Norma CNEN-6.05)
0.1 – 1	Cs-137 U-235	0,3	75 Bq/g
1 – 10	Co-58 I-131 Ir-192	3	75 Bq/g
10 – 100	Tc-99m I-123, I-125, I-129	30	75 Bq/g
100 -1.000	C-14 Tc-99	300	75 Bq/g
1.000 – 10.000	H-3 Ca-45	3.000	75 Bq/g

Fonte: IAEA (1996) e CNEN (1985)

5. CONCLUSÃO

Após realizar pesquisa na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte, detectou-se radiação acima do limite legal de liberação em 60% do conteúdo dos caminhões medidos e a presença inequívoca de tecnécio-99m e iodo-131, havendo sinais de que algumas instituições que utilizam estes materiais não estão observando o preconizado na Norma CNEN-NE-6.05 (CNEN, 1985), ou seja não está havendo a observância do tempo de decaimento do material no local gerado, antes de ser liberado para coleta e transporte para o aterro.

O presente trabalho não teve como escopo identificar o local gerador ou estabelecer de modo sistematizado o impacto desta radiação para os seres humanos e o meio ambiente. No entanto, considerando que não há limiar de dose para os efeitos estocásticos da radiação em seres humanos e que as pessoas que estão em contato com este material, fora dos muros das instalações, não foram informadas, nem preparadas para manipularem material radioativo e, conseqüentemente não conhecem os efeitos das radiações nem sua prevenção, terão chances aumentadas de apresentarem a longo prazo doenças radioinduzidas, como o câncer.

Além disto, se existe uma legislação específica, que estabelece o limite de $7,5 \times 10^4$ Bq/kg ($2\mu\text{Ci/kg}$) para a liberação, cabe a todos os cidadãos brasileiros respeitá-la.

A pesquisa confirmou que há rejeito radioativo circulando em Belo Horizonte, com riscos de dano à saúde dos profissionais que entram em contato com os RSS, desde sua geração até o aterro sanitário e também para o meio ambiente.

A lista abaixo enumera possíveis falhas na gerência de rejeitos de MN, que devem ser diagnosticadas e quantificadas para que o poder público e as entidades envolvidas possam resolver o problema:

- Inobservância do prazo de decaimento;
- Desconhecimento da atividade do material colocado para decaimento;
- Cálculo inadequado do prazo necessário para o decaimento;
- Falta de segregação e separação dos radionuclídeos;
- Subdimensionamento da área de armazenamento para decaimento;
- Liberação inadvertida diretamente com os demais RSS;
- Equipamentos de monitoramento radiológico ausentes ou descalibrados;
- Falta de treinamento e/ou reciclagem do pessoal envolvido nas diversas; fases desde o manuseio inicial dos radiofármacos até a liberação para coleta;

- Ausência de monitoramento no material pós-decaimento tanto nas fases de armazenamento no abrigo de resíduos, ainda na instalação geradora, quanto na coleta, transporte e disposição final.

Fazem-se necessárias campanhas de orientação e treinamento e uma política de fiscalização mais atuante dos órgãos responsáveis pela utilização, manuseio e disposição de materiais contendo radionuclídeos.

Os pontos essenciais destas sugestões são campanhas de treinamento e ênfase no controle e na fiscalização. A experiência brasileira em São Paulo, americana em Boston e européia na Itália, ensina que devem ser instalados detectores de radiação nas centrais de tratamento e disposição final e que todo os RSS devem ser monitorados por detectores do tipo cintilômetros antes de serem liberados para coleta e disposição final. (ALVIM, 2003; OLIVEIRA 2002; EVDOKIMOFF, 1993; BERETTA et al, 1997).

Diante do constatado na pesquisa de campo, considerando a normatização nacional, as ações preconizadas pela IAEA e também a literatura sobre o tema da liberação de rejeitos radioativos para coleta e disposição final, sugere-se:

- Realização de uma reunião de trabalho entre o CNEN, a Superintendência de Vigilância Sanitária da Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais, a Superintendência Municipal de Limpeza Urbana da Prefeitura de Belo Horizonte e a Sociedade de Radiologia de Minas Gerais para estudo do problema da presença de RR nos RSS de Belo Horizonte e elaboração de recomendações para minimização do mesmo;
- Que cada Serviço de Medicina Nuclear tenha o Plano de Radioproteção implantado e que haja uma metodologia interna com procedimentos específicos, nos quais estejam previstas todas as ações envolvendo material radioativo, inclusive treinamento da equipe de trabalho, que assegure a obtenção dos resultados esperados e que não haja descarte de RR como previsto nos anexos 3 e 4 elaborados por Silva e Cussioli (1999).
- Elaboração pelos SMN de um gerenciamento informatizado de seus RR para que não haja descarte de RR juntamente com os demais RSS conforme anexos 9 e 10 do documento de Silva e Cussioli (1999) e Maciel e Medeiros (2004).
- Monitoramento de todo embalado com RSS antes que o mesmo deixe o local de armazenamento para decaimento, visando certificar-se que o mesmo não contenha RR. Sugere-se ainda que, mesmo após a retirada dos indicativos de radioatividade, os embalados

conservem a identificação da instituição de origem para que a SMLU possa estabelecer o local gerador, caso seja encontrado RR nos RSS em suas etapas de coleta, transporte ou disposição final.

Para que o problema da presença de rejeito radioativo de serviços de saúde, circulando junto com os demais RSS, seja resolvido em Belo Horizonte, evitando-se danos a saúde da população e ao meio ambiente, conclui-se com as sugestões de procedimentos básicos, enumeradas a seguir.

A. A SMLU deve exigir um laudo do rejeito recolhido indicando:

- Os radionuclídeos presentes;
- A atividade na hora da sua colocação no abrigo de rejeitos;
- Atestado do supervisor de radioproteção da instalação de que a atividade está abaixo do limite para a liberação.

B. Segurança pessoal e ambiental

- Os resíduos oriundos de instalações de medicina nuclear devem ser coletados separadamente.
- Deve ser mantida a identificação nas embalagens dos RSS para eventual identificação do local gerador do rejeito.
- Monitoramento radiométrico na CTRS BR-040 do conteúdo dos caminhões de RSS, incluindo medidas de atividade radioativa na central de balanças e na frente de aterro.
- Caso seja detectada a presença de rejeitos radioativos (resíduos com atividade acima do valor da norma), manter o caminhão em quarentena em local isolado e só descarregar seu conteúdo no aterro após certificar-se que o material radioativo decaiu até os níveis legais de liberação ambiental.
- Cobrança do gerador de uma taxa adicional pelo tempo de quarentena do caminhão.

C. Medidas para a eliminação do problema

- Sugere-se uma parceria entre o CDTN e as Secretarias Estadual e Municipal de Vigilância Sanitária para auxiliar na implementação do cumprimento da norma CNEN-NE-6.05 e verificar se o Plano de Radioproteção e Programa de

Gerenciamento de Rejeitos Radioativos está efetivamente implantado em todas as instalações que utilizem produtos radioativos.

- Sugere-se uma parceria do CDTN com a SMLU para se estabelecer um plano de medições nos abrigos de resíduos das instalações de medicina nuclear visando avaliar a atividade do resíduo, antes de sua coleta.
- Implantação na CTRS BR 040 de um sistema de monitoramento do conteúdo dos caminhões coletores de RSS.

A universalização da aplicação das medidas previstas no procedimento proposto levará a um diagnóstico completo da situação, permitindo às autoridades públicas e gestores de serviços de saúde que utilizem produtos radioativos a criação de mecanismos legais de controle e de fiscalização que possam resolver o problema.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

- Diagnóstico qualitativo, quantitativo e espectral da presença de RR nos abrigos de RSS existentes nas instituições de saúde que utilizam material radioativo em Belo Horizonte. A pesquisa seria feita nos RSS ainda nos abrigos de resíduos das instituições geradoras, antes de serem coletados pelos caminhões da SMLU, com os mesmos cintilômetros utilizados no aterro sanitário,.
- Diagnóstico qualitativo e quantitativo da presença de radioatividade no aterro sanitário da CTRS BR-040 de Belo Horizonte. Utilizando-se os mesmos equipamentos desta pesquisa seriam feitas medições na frente de aterro ao final dos trabalhos de cada dia, pesquisando-se atividade radioativa residual no aterro.
- Avaliação dos impactos ambientais causados pela presença de RR nos RSS de Belo Horizonte nas etapas de transporte e disposição final.
- Avaliação do risco radiológico ao qual está submetidos toda a cadeia de trabalhadores, desde o local de geração até o aterro sanitário.

REFERÊNCIAS

- ALVIM, S. Contato pessoal. São Paulo, CAVO SERVIÇOS E MEIO AMBIENTE, em 03 jun. 2003.
- AMBIENTE BRASIL. *Coleta e disposição final do lixo*. Disponível em <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./residuos/index.php3&conteudo=./residuos/lixo.html>>. – Acesso em 28/12/2004.
- ANBIO. *A Situação Atual dos Resíduos Hospitalares no Brasil*. Disponível em <<http://www.Anbio.org.br/noticias/lixo2.htm>>. – Acesso em 25/06/2003.
- ANDRADE, J. B. L. *Determinação da composição gravimétrica dos resíduos de serviços de saúde de diferentes tipos de estabelecimentos geradores*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 10-14 maio, Rio de Janeiro, 1999. **Anais**, Rio de Janeiro: ABES, 1999. P. 1666-1672.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.808. **Resíduos de Saúde: Classificação**. São Paulo: ABNT, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.810. **Coleta de resíduos de saúde – Procedimento**. São Paulo: ABNT, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8.419. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimentos**. Rio de Janeiro, ABNT, 1984, 13p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023 – **Informação e documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, ABNT, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. **Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, ABNT 2004.
- BELO HORIZONTE. **Decreto nº 10.296 de 13 de Julho de 2000**. Belo Horizonte, 2000.
- BATISTA, H. **Resíduos aterrados – 2004**. Mensagem recebida por <adirsoncastro@terra.com.br>. Acesso em 11 de abril de 2005.
- BELO HORIZONTE. **Lei Orgânica do Município de Belo Horizonte de 21 de Março de 1990**. Belo Horizonte, 1990.
- BELO HORIZONTE. **Manual de Gerenciamento de resíduos de Serviços de Saúde de Belo Horizonte – 1999**. COPAGRESS. Prefeitura de Belo Horizonte, 1999.
- BERETTA, A., CONTE, L., MONCIARDINI, M. E BIANCHI, L. *Radiological impact of low level solid radioactive waste disposed of with ordinary hospital refuse*. **Radiation Protection Dosimetry**. v. 7, p. 223-226. Oxford: Oxford University Press. 1997
- BÖHM, J., ALBERTS, W.G., SWINTH, K. L., SOARES, C. G., MCDONALD, J. C., THOMPSON, I. M. G., E KRAMER, H. – M. ISO recommended reference radiations for the

calibration and proficiency testing of dosimeters and dose rate meters used in radiation protection. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 86, n. 2, p. 87-105, 1999.

BOLSA DE RESÍDUOS. SP: gestão de resíduos sólidos é pauta de discussão na urbis. São Paulo, 2003. Disponível em:

<http://www2.ciesp.org.br/bolsa/outros_servicos/detalhes_noticias.asp?ID=89>. Acesso em: 26/10/2004.

BOSTON UNIVERSITY PHYSICS DEPARTMENT. How to count moving, charged particles. Disponível em: <<http://physics.bu.edu/cc104/geiger.html>>. Acesso em: 4/01/2005.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC n.33 de 25 fev. 2003. Dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Publicação D.O.U. de 5 mar. 2003

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. RDC n.306 de 07 dez. 2004. Dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Publicação D.O.U. de 10 dez.2004.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Resolução CONAMA nº 05 de 05 de Agosto de 1993*. Brasil, 1993.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE CONAMA. *Resolução CONAMA nº 283 de 12 de Julho de 2001*. Brasil, 2001.

BRISTOL UNIVERSITY OF THE WEST OF ENGLAND. Industrial Radiography. England, INDUSRAD: 2004. Disponível em <<http://learntech.uwe.ac.uk/radiography/RScience/radenv/industrialrad.htm>>. Acesso em 04/01/2005.

BRITO, M. A. G. M. Considerações sobre resíduos sólidos de serviço de saúde. **Revista Eletrônica de Enfermagem** (online), Goiânia, v. 2, n. 2, jul-dez.2000. Disponível em <http://www.fen.ufg.br/revista/revista2_2/residuo.html>. Acesso em 26/10/2004.

CAETANO, M. O. *Tratamento e disposição final dos resíduos de serviço de saúde*. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), UNISINOS, São Leopoldo, 2004.

CARDOSO, E. M.; ALVES, I. P. *Apostila educativa: aplicações da energia nuclear*. Rio de Janeiro: CNEN, s.d. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br>>. Acesso em: 20/04/2004.

CARREGADO, M. A.; CERDA, L. T. *Accidentes e incidentes en el area nuclear ocurridos en América latina y el Caribe*: recopilación bibliográfica. Buenos Aires: CNEA, 2001.

CAVO SERVIÇOS E MEIO AMBIENTE S.A. Gestão total de resíduos de serviços de saúde. São Paulo, sd.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DE ENERGIA NUCLEAR. *A missão*. Belo Horizonte, 2001. Disponível em <<http://www.cdtm.br/institucional/missao.asp>>. Acesso em 19/01/05.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DE ENERGIA NUCLEAR. *Curso de Pós-Graduação das Radiações, Minerais e Materiais*: Tópico especial sobre transporte de materiais radioativos. Belo Horizonte, 2003/2004.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Aplicações sociais*. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ensino/aplicações_sociais.asp>. Acesso em: 7/01/2004.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Aplicações nucleares na área médica*. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/pesquisa/popup_apl_nuc_area_medica..asp>. Acesso em: 5/04/2005.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Atividades*. Disponível em <http://www.cnen.gov.br/institucional/atividades.asp> Acesso em 16/04/2005b.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN – NN – 3.01*: Diretrizes básicas de radioproteção. Rio de Janeiro: CNEN, 2005a.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN – NE – 6.02*: Licenciamento de Instalações Radiativas. Rio de Janeiro: CNEN, 1998.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN – NN – 3.03*: Diretrizes para Certificação da Qualificação de Supervisores de Radioproteção. Rio de Janeiro: CNEN, 1998a.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN - NE - 3.05*: Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Medicina Nuclear. Rio de Janeiro: CNEN, 1996.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN – NE – 5.01*: Transporte de Materiais Radioativos. Rio de Janeiro: CNEN, 1988.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN – NE - 6.05*: Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radioativas. Rio de Janeiro: CNEN, 1985.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *CNEN – NN – 6.09*: Critérios de Aceitação para Deposição de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação. Rio de Janeiro: CNEN, 2002.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. *Guia do sistema nacional de averiguação de eventos radiológicos*. Rio de Janeiro: CNEN, 2000.

COUTO, R. C.; PEDROSA, T.M.; NOGUEIRA, J.M. *Infecção Hospitalar*. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Medsi, 2003.

CUSSIOL, N. A. de M. *Sistema de gerenciamento interno de resíduos sólidos de serviços de saúde: estudo para o Centro Geral de Pediatria de Belo Horizonte*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

DELLAMANO, J. C.; HIRAYAMA, T. *Gerência de rejeitos radioativos em instituições de pesquisa na área da saúde*. In: CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR, 7-, 1998, Belo Horizonte. *Anais*.

DEPARTMENT OF NUCLEAR MEDICINE, AUSTIN; REPATRIATION MEDICAL CENTRE. *Relative risks of nuclear medicine*. Melbourne, Austrália, 2000. Disponível em: <<http://www.petnm.unimelb.edu.au/nucmed/detail/risks.html>>. Acesso em: 1/05/2004.

ECOAGÊNCIA. *Não há problema em depositar lixo hospitalar no aterro sanitário, diz a Agapan*. Disponível em: <http://www.agirazul.com.br/fsm4/_fsm/agplico.htm>. Acesso em 28/12/2004.

EISENBERG, R. L. *Radiology: an illustrated history*. St. Louis: Mosby-Year Book, Inc., 1992. 606 p.

EMERY, R.; JEANNETTE, M.; E SPRAU, D. *Characterization of low-level radioactive waste generated by a large university/hospital complex*. *Health Physics*, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, v.62, p183-185, 1992.

EVDOKIMOFF, V., CASH, C., BUCKLEY, K.; CARDENAS, A. *Potential for radioactive patient excreta in hospital trash and medical waste*. *Health Physics*, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, v.66, p 209-211, 1994.

FASSINA, L. T. DE C. V. DA S.; TEIXEIRA, E. N. Gastric surgical ward solid wastes minimization potential. INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID WASTE TECHNOLOGY AND MANAGEMENT, 14. Philadelphia, 1-4 Nov. 1998. *Anais*. Philadelphia, PA, v.1, p.7-15, 1998.

FERNIQUE, J. C. *Short-Lived Radioactive Waste Management in France*. III Encontro de aplicações Nucleares, Águas de Lindóia, Brasil, Agosto de 1995.

FONSECA, E. *Iniciação ao estudo dos resíduos sólidos e da limpeza urbana*. s.1/: Editora A União. 1998. 122p.

FREITAS, M. A. Comunicação pessoal. Belo Horizonte. CDTN. Em 97 de outubro de 2003.

GRUPO DE ESTUDOS DE ANÁLISES CLÍNICAS. *Plano de gerenciamento de resíduos de serviços de saúde*. Belo Horizonte: CRFMG, 2000. Disponível em: <http://www.crfmg.org.br/geac/artigos/artigos_residuos.html>. Acesso em: 4/01/2005.

GRUPO KOMPAC. A situação atual dos resíduos hospitalares no Brasil. *Revista Meio Ambiente Industrial*, v. 29, 2001. Disponível em: <<http://www.kompac.com.br/noticias/residuos%20hospitalares.htm>>. Acesso em: 26/10/2004.

HELLER, S. Radiation safety in the central radiopharmacy. *Seminars in Nuclear Medicine*, v. 26, n. 2, p. 107-118, Apr. 1996.

HI-TECH TESTING. *Radiography*. Disponível em: <<http://www.hitechtesting.com/radiography.html>>. Acesso em: 28/12/2004.

HOSPITAL SÃO VICENTE DE PAULO. *Tomógrafo*. Mafra, 2005. Disponível em: <<http://www.hsvpmfa.com.br/imagens/tomografo.jpg>>. Acesso em: 3/01/2005.

IDAHO STATE UNIVERSITY. Physics Department. *Radiation detection gas filled detectors*. Disponível em: <<http://www.physics.isu.edu/radinf/images/dect1.gif>>. Acesso em: 4/01/2005.

IDAHO STATE UNIVERSITY. Physics Department. *Radiation detection scintillation detectors*. Disponível em: <<http://www.physics.isu.edu/radinf/images/dect2.gif>>. Acesso em: 4/01/2005a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E DIREITO AMBIENTAL. *Os Resíduos Hospitalares no Brasil. Revista Meio Ambiente Industrial*, Ano V, 30. Ed., 2003. Disponível em <<http://www.ibps.com.br/index.asp?idnoticia=2017>>. Acesso em: 26/10/2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Origem dos rejeitos radioativos*. São Paulo: IPEN, s.d. Disponível em: <<http://www.ipen.br/nr/pag02.htm>>. Acesso em: 10/11/2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. Tecnologia em radiofármacos. *Órbita IPEN*, v.1, n.1, nov/dez 2000. Disponível em <http://www.ipen.br/scs/orbita/2000_11_12/radiofarmacos.htm>. Acesso em: 7/1/2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Produção do gerador via gel será o próximo passo*. São Paulo: IPEN. 2001. Disponível em: <http://www.ipen.br/scs/orbita/2001_07_08/producao.htm>. Acesso em: 4/01/2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. *Tecnécio permite diagnósticos rápidos e precisos*. São Paulo: IPEN. 2001. Disponível em: <http://www.ipen.br/scs/orbita/2001_07_08/aplicacoes.htm>. Acesso em: 02/04/2005a.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Nuclear Safety & Security. *Radiological protection of patients*. Vienna: IAEA, 2004. Disponível em <<http://www-ns.iaea.org/tech-areas/radiation-safety/patients.htm>>. Acesso em 28/12/2004.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Emergency planning and preparedness for accidents involving radioactive materials used in medicine, industry, research and teaching*. Vienna: IAEA, 1989. (Safety series, 91)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Clearance levels for radionuclides in solid materials: application of exemption principles*. Interim report for comment. Vienna: IAEA, 1996. (IAEA-TECDOC-855).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research*. Vienna: IAEA, 1998. (IAEA-TECDOC-1000).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Management of radioactive waste from the use of radionuclides in medicine*. Vienna: IAEA, 2000. (IAEA TECDOC-1183).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Management of radioactive wastes produced by users of radioactive materials*. Vienna: IAEA, 1985. (Safety Series, 70)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Nature and magnitude of the problem of spent radiation sources*. Vienna: IAEA, 1991. (IAEA-TEADOC-620)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Planning the medical response to radiological accidents*. Vienna: IAEA, 1998a. (Safety report series, 4)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Practical radiation technical manual: workplace monitoring for radiation and contamination*. Vienna: IAEA, 1995.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Protection of the environment from the effects of ionizing radiation, a report for discussion*. Vienna: IAEA, 1999. (IAEA-TECDOC-1091)

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Radiation protection in nuclear energy. In: CONFERENCE ON RADIATION PROTECTION IN NUCLEAR ENERGY, 1988, Sydney, 18-22 April. *Proceedings...* Vienna: IAEA, 1989. v.2.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *The International Nuclear Event Scale (INES)*. Disponível em: <<http://www.ukaea.org.uk>>. Acesso em: 1/05/2004.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Safe Transport of Radioactive Material*. 3. Ed. Vienna, 2002.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. *Recommendations of the ICRP*. Oxford: Pergamon Press, 1977. (ICRP Publication 26).

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. *Recommendations of the ICRP*. Oxford: Pergamon Press, 1991. (ICRP Publication 60).

JANG, W., LIU, T. D. S., CHIOU, S. Management of radioactive waste from small producers in Taiwan. In: 10th PACIFIC BASIN NUCLEAR CONFERENCE, 1996, Kobe (Japan), 20-25 Oct. *Proceedings...* Tokyo (Japan): Atomic Energy Society of Japan; 1996; p. 1.216-1.222.

JOHNSTON, P. D.. *Indroduction et généralités - Module 1*. Curso: “La gestión des déchets radioactifs” Saclay, França, 9 sep. – 11 oct. 1985.

KEENE, J. H Medical waste: a minimal hazard. *Infection Control and Hospital Epidemiology*. v. 12, n. 11, p. 163 – 170, 1991.

KIM, K. *Establishment of systematic safety assessment technology for radioactive waste disposal facility*. Taejon: Korea Institute of Nuclear Safety, 1996.

KOREA INSTITUTE OF NUCLEAR SAFETY. Regulatory Research Department. *Basic regulatory system for radioactive waste management in Korea*. Taejon: Korea Institute of Nuclear Safety, 1996.

LABORATÓRIO NACIONAL DE METROLOGIA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES. DESIGNADO PELO INMETRO IRD/CNEN/MCT. *Grandezas e Unidades para Radiação Ionizante*. Rio de Janeiro, 2002.

LADEIRA, L. C. D. Irradiação de alimentos: fatos sobre uma tecnologia eficiente e pouco conhecida. *Brasil Nuclear*, Rio de Janeiro, v. 6, n. 19, p. 15, jun., 1999.

LIMA, F. F.; KHOURY, H. J.; HAZIN, C. A. *Avaliação da dose recebida pelos familiares de pacientes com hipertireoidismo tratados com Iodo-131*. In: ENCONTRO NACIONAL DE APLICAÇÕES NUCLEARES, 4, 1997, Poços de Caldas. Anais v. 1. Rio de Janeiro: ABEN, 1997.

MACIEL, B.; MEDEIROS, R. B. *Desenvolvimento de um banco de dados para informatização do gerenciamento dos rejeitos radioativos do complexo UNIFESP/Hospital de São Paulo*. São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.abfm.org.br/rio2004/sistema_3/site/upload/wepo344.doc>. Acesso em: 26/10/2004.

MATTOS, M. F. S. S.; MACIEL, B.; PAULA, L. C.; MEDEIROS, R. B. *Comparação entre diferentes métodos de gerenciamento dos resíduos de Tc-99m gerados nos serviços de medicina nuclear: estudo complementar*. São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.abfm.org.br/rio2004/sistema_3/site/upload/tuos44.doc>. Acesso em: 26/10/2004.

MATTOS, M. F. S. S.; PIZOLATO, E.; PESTANA, J. O. M.; MEDEIROS, R. B. *Contribuição do Comitê de Ética em Pesquisa para o aprimoramento do gerenciamento dos rejeitos radioativos provenientes das atividades científicas*. S.l., 2004a.

METHÉ, B. M. Managing radioactively contaminated infectious waste at a large biomedical facility. *Health Physics*, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, v.64, p. 187-191, 1993.

MINAS GERAIS. *Lei estadual nº 13.796, de 20 de dezembro de 2000*. Belo Horizonte.

MÖLLER, S. V. *Aplicações industriais das radiações ionizantes: datação, esterilização e detecção de fugas*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

MOURÃO, Rogério P. *Seleção de embalados*. Belo Horizonte: CDTN/CNEN, 2003. 3p. (Notas de aula).

NAGATA, D., ZANARDO, E. L. E COSTA, V. I. *Gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde contaminados com rejeitos radioativos provenientes de atividade de Medicina Nuclear: Estudo de caso*. In: 4º CONGRESSO REGIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL da 4ª Região da AIDIS – Cone Sul, 2003, São Paulo, 3 –6 jun. *Anais...* São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, M. V.; AGHINA, M. A. C.; OBADIA, I. J. *Sistema de monitoração de rejeitos radioativos hospitalares*. In: NATIONAL MEETING ON NUCLEAR APPLICATIONS. *Anais*. Rio de Janeiro: 6 de agosto de 2002.

ÖZDEMİR, T.; USLU, I. A *General overview and literature review on clearance criteria*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SAFE DECOMMISSIONING FOR NUCLEAR ACTIVITIES - ASSURING THE SAFE TERMINATION OF PRACTICES INVOLVING RADIOACTIVE MATERIALS, 2002, Berlin: 14-18 Oct. *Proceeding*. p.387-389, 2002.

PAULA, L. de. *Gerenciamento de rejeitos radioativos*. Mensagem recebida por <adirsoncastro@terra.com.br>. Acesso em: 08/11/2004.

- PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. *Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR-040*. Disponível em http://portal2.pbh.gov.br/pbh/index.html?id_conteudo=2590&id_nivel1=-1. Acesso em: 16/04/2005.
- PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. *Informações estatísticas*. Disponível em <http://portal2.pbh.gov.br/pbh/pgE>. Acesso em: 26/12/2004a.
- PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. *Orçamento 2003*. Disponível em <http://www.pbh.gov.br/pbh/>. Acesso em: 26/12/2004b.
- REGIS, R. Radiofármaco reverte imagem negativa da energia nuclear. *Scientific American Brasil*, n.5, out. 2002. Disponível em: http://www2.uol.com.br/sciam/materia_capa_6.htm. Acesso em 07/01/2004.
- REPUBLIQUE FRANÇAISE. *La Gestion des Déchets Radioactifs – Module IV – Déchets Médicaux, Industriels et Scientifiques. – Guide Pour les Établissements Publics D’enseignement Supérieur ou de Recherche*. França, 2002. Disponível em: http://www.sdfp.inet.fr/formathedue/publications/index_publications.html. Acesso em: 16/07/2004.
- RESTORI, E.; BORRINI, A. Unavoidable radioactivity in medical waste correspondence. *Health Physics*, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, v. 67, n. 4, p. 416-417; 1994.
- RING, J.; OSBORNE, F; SHAPIRO, J.; JOHNSON, R. Radioactive waste management at a large university and medical research complex. *Health Physics*, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, v.65, n.2, p 193-199, 1993.
- ROCHA, A. F. G.; HARBERT, J. C. *Medicina Nuclear: Base*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1979.
- ROEDEL, G. *Estrutura da matéria e radioatividade*. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, s.d.
- ROMA. Comuna. Azienda Municipale Ambiente. Nuovo impianto per l’incineramento dei rifiuti ospedalieri. Roma. 1996.
- SAHA, G. B. *Fundamentals of nuclear pharmacy*. 4. ed. New York: Springer, 1998.
- SCHWARTZENBERG, M. R.G. Discours. Paris, 2001. Disponível em: <http://www.recherche.gouv.fr/discours/2001/dpalais.htm>. Acesso em: 30/6/2003.
- SCHNEIDER, V. E.; EMMERICH, R.C.; DUARTE, V.C. ORLANDIN, S.M. *Manual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Serviços de Saúde*. 2ª Ed. Caxias do Sul: EducS, 2004.
- SENNE JR, M. *Noções sobre radiações ionizantes e proteção radiológica*. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, s.d.
- SHACKETT, P. *Nuclear medicine technology: procedures and quick reference*. Philadelphia: Lawrence McGrew, 2000.

SILVA, E. M. P. DA; CUSSIOL, N. A. DE M. *Gerência de rejeitos radioativos de serviços da saúde*. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, 1999. (Publicação CDTN-857/99)

SILVA, E. M. P. DA; MIAW, S. T. W. Gerência de rejeitos radioativos de serviços de saúde. In: REGIONAL CONGRESS ON RADIATION PROTECTION AND SAFETY, 5; IBERIAN AND LATIN AMERICAN CONGRESS OF RADIOLOGICAL PROTECTION SOCIETIES, 2, 2001, Recife, 29 abr. – 04 mai. *Proceedings*. 1 cd.

SILVA, E. M. P. *Estudo teórico do comportamento químico de alguns radionuclídeos no produto cimentado*. 1997. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Departamento de Engenharia Nuclear da Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

SILVA, T. A. DA; PEIXOTO, J. G. P.; JESUS, E. F. O. DE. *Sinopse das recomendações da International Commission on Radiological Protection de 1990*. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, 2003.

SILVA, T.A.; PEIXOTO, J.G.P.; JESUS, E. F. O. DE. *Sinopse das recomendações de 1990 da ICRP 4: a estrutura conceitual de proteção radiológica*. In: LABORATÓRIO NACIONAL DE METROLOGIA DAS RADIAÇÕES. Grandezas e unidades para radiação ionizante. Rio de Janeiro, 2002. p. 12-26.

SIQUEIRA, C. F.; LIMA, C. F. *Comunicação Pessoal*, Belo Horizonte, 2004.

SOARES, S. R. et al. *Avaliação da evolução microbiológica em resíduos hospitalares infecciosos*. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. *Anais*, Rio de Janeiro: ABES/AIDIS, 2000. CD-ROM.

TAUHATA, L.; SALATI, I. P. A.; DI PRINZIO, R.; DI PRINZIO, A. R. *Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos*. Rio de Janeiro: Instituto de Radioproteção e Dosimetria, 1999.

TELLO, C. C. O. DE. *Efetividade das bentonitas na retenção de céσιο em produtos de rejeitos cimentados*. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

TELLO, C. C. O. DE. *Tratamento e armazenamento de rejeitos radioativos*. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, 2003. Apostila para o curso de Gerência de Rejeitos, ministrado em setembro de 2003 no 43º Congresso Brasileiro de Química. Ouro Preto, 22-26 set. 2003.

THRALL, J. H; ZIESSMAN, H. A. *Medicina nuclear*. Tradução de Maria Expósito Penas. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 408 p.

TURNER, J. E. *Atoms, radiation and radiation protection*. New York: J. Willey, 1995.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. *Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radientomologia*. Disponível em: <<http://www.cena.usp.br/labs/labirradalim.htm>>. Acesso em: 28/12/2004.

VANDECASTEELE, C. M. Environmental monitoring and radioecology: a necessary synergy. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2003. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/jenvrad>>. Acesso em: 5/07/2004.

VMI – INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. Disponível em <<http://www.shopping1.radiológico.nom.br/vmi/compacto.htm>>. Acesso em: 05/01/2005.

WAKABAYASHI, T. *Normas de radioproteção e instruções normativas do CDTN*. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear.

WAKABAYASHI, T. *Procedimentos em situações de emergência*. Belo Horizonte Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear.

WALDER, J. M. M. *Energia nuclear na agricultura*. Rio de Janeiro: CNEN, 1987.

GLOSSÁRIO

Acidente - Evento não intencional incluindo erros de operação, falhas nos equipamentos ou outra não conformidade que cause conseqüências efetivas ou potenciais não negligenciáveis em termos de radioproteção ou segurança.

Área livre - Área isenta de regras especiais de segurança, aonde as doses equivalentes efetivas anuais de radiação ionizante não ultrapassam o limite primário para indivíduos do público.

Aterro sanitário - Técnica de destinação final de resíduos sólidos urbanos no solo, por meio de confinamento em camadas cobertas com material inerte, segundo normas específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde e à segurança, minimizando os impactos ambientais

Atividade - Em uma amostra radioativa é a relação entre o número de transformações nucleares e o intervalo de tempo.

Blindagem - Material geralmente composto de um elemento absorvedor de elevado número atômico, empregado para reduzir a intensidade da radiação.

Carros coletores - São os carros providos de rodas, destinados à coleta e transporte interno de resíduos de serviços de saúde.

Conteúdo radioativo - Material radioativo contido no interior da embalagem, incluindo quaisquer outros materiais sólidos, líquidos ou gasosos contaminados.

Chorume - Líquido que provém da decomposição da fração orgânica do lixo.

Efeitos biológicos - Conjunto de danos nos tecidos ou órgãos provocados pela penetração e conseqüente absorção da radiação ionizante. Os efeitos radioinduzidos podem ser estocásticos, para os quais a probabilidade de ocorrência ou risco, e não sua severidade, depende da dose recebida, sem limiar (cânceres e efeitos genéticos); e não-estocásticos, onde a severidade do dano aumenta com a dose, e para os quais é possível estimar uma dose limiar (deficiências hematológicas, cataratas, infertilidades).

Embalado - Volume apresentado para transporte, abrangendo embalagem e respectivo conteúdo.

Embalagem - Conjunto de componentes necessários para encerrar completamente o conteúdo radioativo.

Emergência - Ocorrência de situações identificadas como anormais devida a perda de controle de fonte radioativa, as quais podem ocasionar danos ou exposições desnecessárias ao trabalhador, membro do público ou meio ambiente.

Equipamento de proteção individual (EPI) - Dispositivo de uso individual, destinado a proteger a saúde e a integridade física do trabalhador, atendidas as peculiaridades de cada atividade profissional ou funcional.

Fonte radioativa - Aparelho ou material que emite ou é capaz de emitir radiação ionizante.

Fonte aberta - Fonte radioativa não isolada radiologicamente do meio ambiente, estando em forma líquida ou dispersível.

Fonte selada - Fonte radioativa encerrada hermeticamente em uma cápsula, ou ligada totalmente a material inativo envolvente, de forma que não possa haver dispersão de substância radioativa em condições normais e severas de uso.

Incidente - Termo usado arbitrariamente para designar um acidente de menor relevância. Ao contrário do acidente pode ter causa intencional

Indivíduo do público - Qualquer membro da população não exposto ocupacionalmente às radiações.

Instalações radiativas - Estabelecimento onde se produzem, processam, manuseiam, utilizam, transportam ou armazenam fontes de radiação, excetuado-se as instalações nucleares definidas na norma CNEN-NE-1.04 "licenciamento de instalações nucleares" e os veículos transportadores de fontes de radiação.

Irradiadores - Equipamentos que submetem uma determinada substância ou material à ação de um feixe de partículas ou radiações.

Isótopos - São núclídeos com mesmo número de massa, mas com diferentes números de nêutrons.

Licenciamento ambiental - Atos administrativos pelos quais o órgão de meio ambiente aprova a viabilidade do local proposto para uma instalação de tratamento ou destinação final de resíduos, permitindo a sua construção e operação, após verificar a viabilidade técnica e o conceito de segurança do projeto.

Licenciamento de instalações radiativas - Atos administrativos pelos quais a CNEN aprova a viabilidade do local proposto para uma instalação radiativa e permite a sua construção e operação, após verificar a viabilidade técnica e o conceito de segurança do projeto.

Limite de eliminação - Valores estabelecidos na norma CNEN-NE-6.05 "gerência de rejeitos radioativos em instalações radioativas" e expressos em termos de concentrações de atividade e/ou atividade total, em ou abaixo dos quais um determinado fluxo de rejeito pode ser liberado pelas vias convencionais, sob os aspectos de proteção radiológica.

Limite de isenção - Valores de atividade específica para substâncias radioativas, ou de atividade total, para um determinado radionuclídeo, estabelecidos na norma CNEN-NE-6.02 "licenciamento de instalações radiativas", que isentam as instalações radioativas do processo de licenciamento se, em qualquer instante ou situação de operação, os mesmos não forem ultrapassados.

Limite máximo permissível - Em se tratando de dose, é o valor acima do qual o efeito da radiação pode se tornar observável ou nocivo. Ao longo do tempo está havendo uma diminuição progressiva desses limites.

Material radioativo - Material que contém substâncias emissoras de radiação ionizante.

Meia-vida física - Tempo que um radionuclídeo leva para ter a sua atividade inicial reduzida à metade.

Plano de radioproteção - PR - Documento exigido para fins de licenciamento de instalações radiativas, pela comissão nacional de energia nuclear, conforme competência atribuída pela lei 6.189, de 16 de dezembro de 1974, que se aplica às atividades relacionadas com a localização, construção, operação e modificação de instalações radiativas, contemplando, entre outros, o programa de gerência de rejeitos radioativos – PGRR.

Princípio ALARA - Preceitos para proteção radiológica adotados internacionalmente, os quais recomendam serem mantidas as exposições em níveis tão baixos quanto exequíveis.

Proteção radiológica - Legislação, regulamentação e procedimentos técnicos para proteger o meio ambiente, o público em geral e àqueles que trabalham em indústrias, usinas, mineradoras e laboratórios dos efeitos das radiações. Também se relaciona com as medidas tomadas para redução da exposição à radiação.

Radiação ionizante - Qualquer partícula ou radiação eletromagnética que, ao interagir com a matéria, ioniza direta ou indiretamente seus átomos ou moléculas.

Radiofármaco - Radioquímico cuja pureza e condições de estabilidade e tamponamento permitem seu uso em pacientes.

Radionuclídeo - Isótopo radioativo, ou radioisótopo.

Radioquímico - Radionuclídeo que combinado com determinada molécula química adquire propriedades de localização e rastreamento desejados.

Reatores nucleares - Dispositivos nos quais ocorre uma reação controlada de fissão nuclear em cadeia.

Resíduos perigosos – Resíduos de serviços de saúde que apresentam risco adicional à saúde pública e/ou ao meio ambiente.

Resíduos de serviços de saúde (RSS) - Resíduos dos estabelecimentos prestadores de serviço de saúde em estado sólido ou semi-sólido, resultantes destas atividades. São também considerados sólidos os líquidos produzidos nestes estabelecimentos, cujas particularidades tornem inviáveis o seu lançamento em rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso, soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.(Resolução CONAMA n°. 05/1993).

Risco potencial - Condição de perigo virtual inerente às atividades com radiações ionizantes, existente como faculdade ou possibilidade mediante a sua prévia avaliação.

Substância radioativa - Componente da matéria que emite radiação ionizante, podendo ser natural ou artificial.

Veículo coletor - veículo utilizado para a coleta externa e o transporte de resíduos de serviços de saúde.

APÊNDICE A
DIÁRIO DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS - FEVEREIRO 2004

Diário de Coleta de Resíduos Sólidos - Fevereiro 2004					
Roteiro A - GMF 1053 Tara: 9200 kg - OBS: 1 hora de almoço.					
Dia		Início	Chegada	Peso (kg)	Observação
02/02/04	2ª Feira	08:10	10:15	6660	
		10:55	15:45	4320	
03/02/04	3ª Feira	08:10	10:05	3760	
		10:45	15:30	5480	
04/02/04	4ª Feira	08:15	10:30	5560	Defeito no aterro de 10:45 às 11:30
		13:50	18:25	3000	Defeito e substituição pelo caminhão de placa: GMM 7364
05/02/04	5ª Feira	08:10	10:25	4200	Defeito e substituição pelo caminhão de placa: GMM 7364
		14:10	18:10	4140	
06/02/04	6ª Feira	08:10	10:10	5580	
		11:00	16:30	4500	
07/02/04	Sábado	08:05	11:25	5600	
09/02/04	2ª Feira	08:10	10:40	4540	
		12:40	16:50	6620	
10/02/04	3ª Feira	08:10	11:15	5940	
		13:15	16:20	3320	
11/02/04	4ª Feira	08:10	10:40	5740	
		12:45	17:10	4560	
12/02/04	5ª Feira	08:25	10:45	5460	
		12:50	16:30	3900	
13/02/04	6ª Feira	08:10	10:30	5960	
		12:45	17:25	5420	
14/02/04	Sábado	08:10	11:30	5000	
16/02/04	2ª Feira	08:10	11:00	6540	
		13:15	18:00	4680	
17/02/04	3ª Feira	08:10	10:25	3880	
		11:10	16:50	5760	
18/02/04	4ª Feira	08:10	11:20	6200	
		13:30	17:40	3940	
19/02/04	5ª Feira	08:10	11:05	6040	
		13:15	16:20	3480	
20/02/04	6ª Feira	08:10	10:55	5720	
		13:05	17:45	5320	
21/02/04	Sábado	08:10	11:20	5440	
23/02/04	2ª Feira	08:10	11:30	7640	
24/02/04	3ª Feira	08:10	10:45	5760	
25/02/04	4ª Feira	08:10	10:50	4740	
26/02/04	5ª Feira	08:10	13:20	6180	
27/02/04	6ª Feira	08:10	10:55	5000	
		12:55	16:30	6460	
28/02/04	Sábado	08:10	11:25	5040	

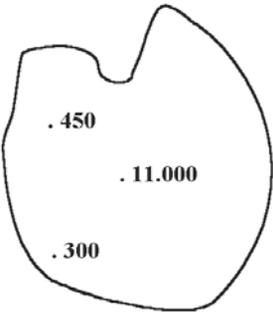
Diário de Coleta de Resíduos Sólidos - Fevereiro 2004					
Roteiro B - GMM 1053 Tara: 10520 Obs.: 1 hora de almoço					
Dia		Início	Chegada	Peso (kg)	Observações
02/02/04	2ª Feira	08:10	13:50	5720	
		14:30	18:30	4580	
03/02/04	3ª Feira	08:15	16:35	5520	
04/02/04	4ª Feira	08:15	17:55	6720	Atraso causado por defeito, substituição pelo GMF1067.
05/02/04	5ª Feira	08:15	16:30	6900	
06/02/04	6ª Feira	08:10	15:10	7020	Atraso causado por defeito, substituição pelo GMF1067.
		15:55	17:10	1360	
07/02/04	Sábado	08:10	12:45	5680	Defeito, substituição pelo GMF 1067.
09/02/04	2ª Feira	08:10	13:20	6960	Defeito, substituição pelo GMF 1067.
		13:50		5600	Foi descarregado apenas no dia seguinte.
10/02/04	3ª Feira	08:10	17:20	7220	Defeito, substituição pelo GMF 1067
11/02/04	4ª Feira	08:10	16:35	5940	
12/02/04	5ª Feira	08:25	16:35	6580	
13/02/04	6ª Feira	08:10	17:10	7100	
14/02/04	Sábado	08:10	11:35	4760	
16/02/04	2ª Feira	07:10	12:20	6860	
		13:00	19:05	5420	
17/02/04	3ª Feira	08:10	17:15	7340	
18/02/04	4ª Feira	08:10	15:40	4840	
		16:15		2880	Pneu furado. "Dormiu" carregado no pátio.
19/02/04	5ª Feira	08:10	16:40	6540	
20/02/04	6ª Feira	08:10	18:00	6820	Atraso, troca de pneu.
21/02/04	Sábado	08:10	11:35	5160	
23/02/04	2ª Feira	08:10	10:45	4960	
		11:40	16:40	4220	
24/02/04	3ª Feira	08:15	11:20	3238	
25/02/04	4ª Feira	08:20	16:15	4800	
26/02/04	5ª Feira	08:10	16:50	7460	
27/02/04	6ª Feira	08:10	16:40	6720	
28/02/04	Sábado	09:45	12:15	3420	Saiu às 8:10, estragou e foi substituído pelo GMM 7365.

Diário de Coleta de Resíduos Sólidos - Fevereiro 2004					
Roteiro C - GMF 1066 Tara 9200 kg. - OBS: 1 hora de almoço					
Dia		Início	Chegada	Peso (kg)	Observações
02/02/04	2ª Feira	08:10	11:35	6260	
		12:15	18:55	5800	
03/02/04	3ª Feira	08:10	13:15	5900	
04/02/04	4ª Feira	08:10	12:00	4840	
		13:00	19:40	4460	
05/02/04	5ª Feira	08:20	16:35	5920	
06/02/04	6ª Feira	08:20	15:55	7360	
07/02/04	Sábado	08:05	12:05	4780	
09/02/04	2ª Feira	08:05	12:25	6260	
		14:00	18:55	6540	
10/02/04	3ª Feira	08:05	13:40	5080	
11/02/04	4ª Feira	08:10	12:15	4700	
		14:00	19:45	5400	Atraso causado por pneu furado.
12/02/04	5ª Feira	08:10	16:45	7500	
13/02/04	6ª Feira	08:10	13:50	5780	
		14:30	17:40	3120	
14/02/04	Sábado	08:05	11:50	5100	
16/02/04	2ª Feira	08:05	11:40	6120	
		12:20	18:30	4560	
17/02/04	3ª Feira	08:05	13:00	6300	
18/02/04	4ª Feira	08:05	12:15	5640	
		12:55	18:45	4540	
19/02/04	5ª Feira	08:05	13:05	5520	
20/02/04	6ª Feira	08:05	11:30	4440	
		12:35	18:00	5260	
21/02/04	Sábado	08:20	13:55	5340	
23/02/04	2ª Feira	08:15	12:00	5940	
		12:15	16:25	4320	
24/02/04	3ª Feira	08:05	11:00	3520	
25/02/04	4ª Feira	08:05	09:50	1980	Defeito e substituição pelo GMM 7365
		09:15	15:20	4280	O caminhão GMM 7365 fez a coleta neste dia.
26/02/04	5ª Feira	08:05	12:50	4360	O caminhão GMM 7365 fez a coleta neste dia.
27/02/04	6ª Feira	08:05	11:40	3760	
		12:30	17:45	6140	
28/02/04	Sábado	08:05	11:50	4620	

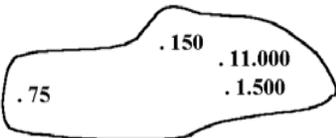
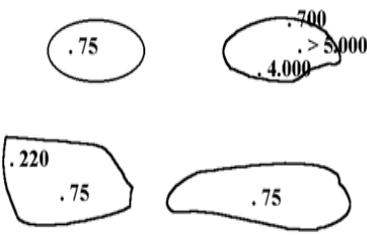
Diário de Coleta de Resíduos Sólidos - Fevereiro 2004					
Roteiro D - GMM 7364 e GMM 7365 Tara de ambos: 9960 kg.					
Dia		Início	Chegada	Peso (kg)	Observações
02/02/04	2ª Feira	08:10	13:55	8020	
		14:25	18:05	6940	
03/02/04	3ª Feira	08:20	15:10	7580	
04/02/04	4ª Feira	08:15	14:15	2900	
		14:35	18:05	6920	
05/02/04	5ª Feira	08:15	14:05	6960	
		14:25	17:20	2140	
06/02/04	6ª Feira	08:15	14:30	7560	
		14:55	18:00	2000	
07/02/04	Sábado	08:40	12:30	5620	
09/02/04	2ª Feira	08:10	13:10	7540	
		14:35	19:00	8880	
10/02/04	3ª Feira	08:20	15:45	8320	GMM 7365
11/02/04	4ª Feira	08:15	14:05	7900	
		14:35	17:45	3132	Substituído pelo GMM 7365
12/02/04	5ª Feira	08:15	17:35	7000	Defeito e substituído pelo GMF 1067
13/02/04	6ª Feira	08:15	14:10	5240	GMM 7365
		14:35	18:00	2360	GMM 7365
14/02/04	Sábado	08:10	10:40	3132	
16/02/04	2ª Feira	08:10	13:30	8080	
		14:00	17:50	5580	
17/02/04	3ª Feira	08:15	13:35	5140	
		14:05	17:25	2360	
18/02/04	4ª Feira	08:05	13:23	6000	
		13:52	15:50	1580	
19/02/04	5ª Feira	08:10	14:47	7380	
20/02/04	6ª Feira	08:13	13:13	5000	
		13:43	16:35	3680	
21/02/04	Sábado	08:10	12:27	4760	
23/02/04	2ª Feira	08:13	13:15	7500	
		13:40	15:10	1900	
24/02/04	3ª Feira	08:10	10:50	3200	
25/02/04	4ª Feira	08:05	13:20	4740	
26/02/04	5ª Feira	08:07	13:53	5940	
27/02/04	6ª Feira	08:10	15:53	7620	
28/02/04	Sábado	08:12	12:23	4820	

Diário de Coleta de Resíduos Sólidos - Fevereiro 2004					
Roteiro E - GMM 7366 e GMF 1067 Tara: 7366 e 9200 kg respectivamente.					
OBS: 1 hora de almoço					
Dia		Início	Chegada	Peso (kg)	Observações
02/02/04	2ª Feira	08:15	15:05	7660	Defeito sendo substituído pelo GMF 1067.
		16:30	20:30	6080	
03/02/04	3ª Feira	08:20	17:00	6220	
04/02/04	4ª Feira	08:15	15:45	6200	
05/02/04	5ª Feira	08:20	17:00	6380	
06/02/04	6ª Feira	08:20	17:15	6680	
07/02/04	Sábado	08:10	13:05	4720	
09/02/04	2ª Feira	08:20	15:50	8120	
		16:35	18:25	3800	
10/02/04	3ª Feira	08:20	16:50	6160	
11/02/04	4ª Feira	08:15	17:25	7360	
12/02/04	5ª Feira	08:35	17:00	7000	
13/02/04	6ª Feira	08:20	18:30	8200	Atraso causado por defeito.
14/02/04	Sábado	08:10	14:05	6460	
16/02/04	2ª Feira	08:10	14:45	7100	
		15:30	18:25	4900	
17/02/04	3ª Feira	08:10	16:55	8040	
18/02/04	4ª Feira	08:20	16:45	8240	
19/02/04	5ª Feira	08:15	17:15	8060	
20/02/04	6ª Feira	08:10	13:20	3560	Defeito - Substituído pelo caminhão de placa GMF 1067.
		11:40	18:00	6100	
21/02/04	Sábado	08:10	13:55	7000	
23/02/04	2ª Feira	08:10	14:25	6860	
		15:10	17:50	4720	
24/02/04	3ª Feira	08:05	12:55	4600	
25/02/04	4ª Feira	08:10	15:55	5820	
26/02/04	5ª Feira	08:10	17:45	6540	Atraso causado por defeito.
27/02/04	6ª Feira	08:05	16:35	7440	Atraso causado por defeito.
28/02/04	Sábado	08:15	14:10	6200	

APÊNDICE B

PROTOCOLO DE MEDIÇÕES DE RADIAÇÃO - ATERRO SANITÁRIO – DIA 20 DE ABRIL DE 2004							
Roteiro	Horário	Placa	Peso Bruto	Peso Líquido	Valor Máximo (cps)	Radiação de Fundo (cps)	Croquis de Medição (Monte Único)
D	14:07	GMM 7364	16.260	6.300	11.000	80	
A	14:39	GMM 5801	16.220	5.500			

PROTOCOLO DE MEDIÇÕES DE RADIAÇÃO – ATERRO SANITÁRIO – DIA 04 DE MAIO DE 2004

Roteiro	Horário	Placa	Peso Bruto	Peso Líquido	Valor Máximo (cps)	Radiação de Fundo (cps)	Croquis de Medição
A	15:41	GMM 5801	12.280	1.560	11.000	65	
B	16:14	GMF 1067	16.260	7.060	5.500	70	
C	14:11	GMF 1066	14.920	5.720	100	60	

--	--	--	--	--	--	--	--

PROTOCOLO DE MEDIÇÕES DE RADIAÇÃO – ATERRO SANITÁRIO – DIA 05 DE MAIO DE 2004

Roteiro	Horário	Placa	Peso Bruto	Peso Líquido	Valor Máximo (cps)	Radiação de Fundo (cps)	Croquis de Medição
C	11:44	GMF 1066	14.520	5.320	>15.000	85	

PROTOCOLO DE MEDIÇÕES DE RADIAÇÃO – ATERRO SANITÁRIO – DIA 08 DE MAIO DE 2004

Roteiro	Horário	Placa	Peso Bruto	Peso Líquido	Valor Máximo (cps)	Radiação de Fundo (cps)	Croquis de Medição
A	11:29	GMM 5801	14.680	3.960	10.000	70	
B	11:54	GMM 6095	15.780	5.260	400	60	

C	12:04	GMF 1066	14.640	5.440	300	65	
D	10:39	GMM 7364	13.520	3.560	550	60	
E	12:42	GMM 7365	15.420	5.460	12.000	65	

PROTOCOLO DE MEDIÇÕES DE RADIAÇÃO – ATERRO SANITÁRIO – DIA 11 DE MAIO DE 2004

Roteiro	Horário	Placa	Peso Bruto	Peso Líquido	Valor Máximo (cps)	Radiação de Fundo (cps)	Croquis de Medição
---------	---------	-------	------------	--------------	--------------------	-------------------------	--------------------

A	11:07	GMM 5801	15.440	4.720	90	70	
B	13:45	GMM 6095	16.040	5.520	6000	75	
C	13:36	GMM 7365	15.500	5.540	75	70	
D	13:27	GMM 7364	14.440	4.480	100	75	

ANEXO A
LEGISLAÇÃO FRANCESA

GESTION DES DECHETS

Guide pour les établissements
publics d'enseignement
supérieur ou de recherche

Inserm

Institut national
de la santé et de la recherche médicale

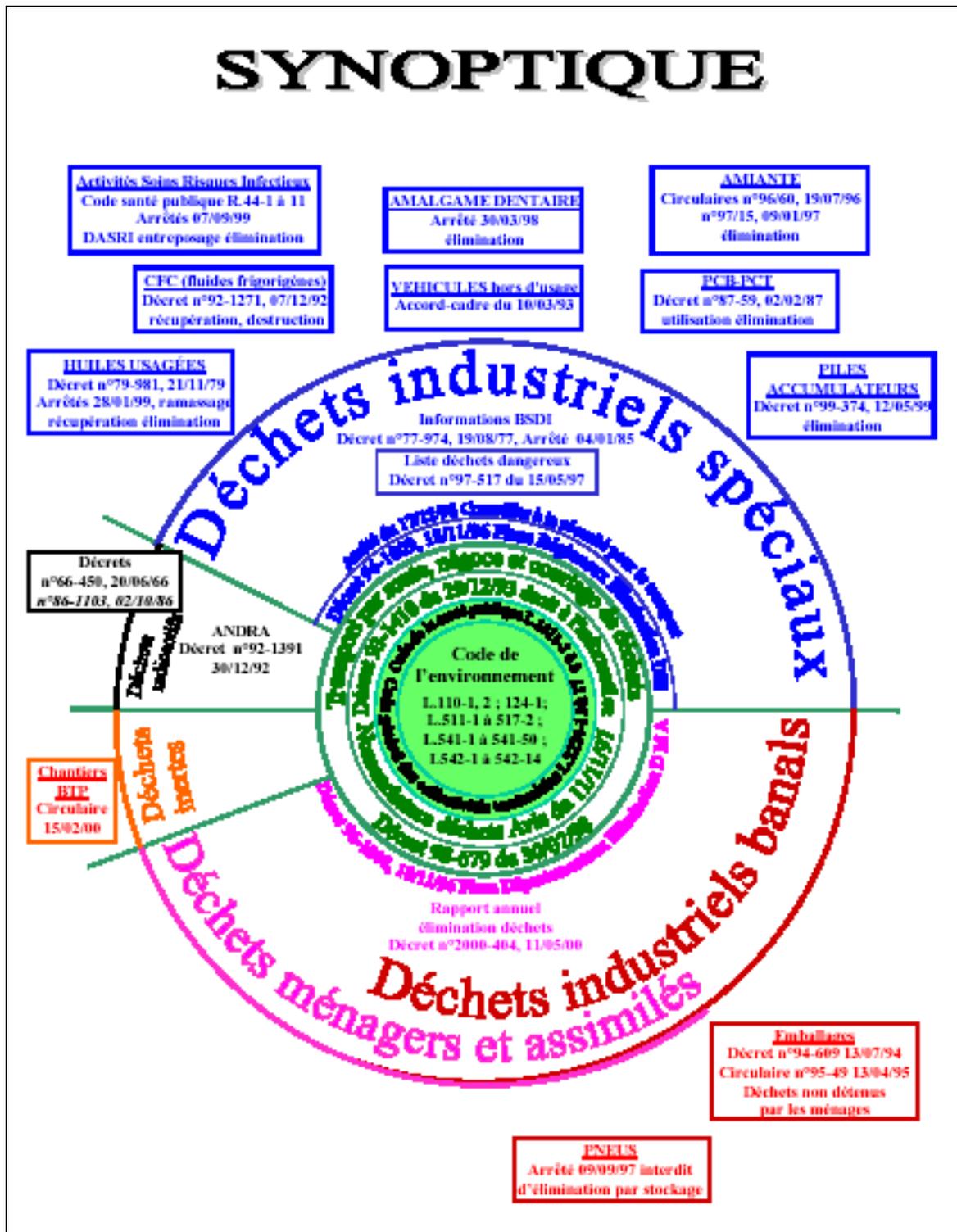
CNRS
CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

INRA

ministère
Éducation
nationale

Direction des processus
administratifs,
techniques et d'encadrement


Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Fiche 3-2 : DECHETS CONTENANT DES RADIOELEMENTS ARTIFICIELS EN SOURCES NON-SCELLEES DE PERIODE COURTE (INFERIEURE A 100 JOURS)

Exemples

- Flacons de scintillation, effluents de manipulation, solides, cônes, tubes, gants, filtres, plaques de culture ou de radiographie, contaminés par les radioéléments suivants: ^{18}F , ^{24}Na , ^{32}P , ^{33}P , ^{35}S , ^{51}Cr , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{125}I , ^{125}I , ^{131}I . Cette liste n'est pas exhaustive.

Textes de référence

- Consulter également les textes généraux dans l'introduction thématique.

Risques spécifiques

- Pour l'homme : risque d'incorporation de substances associé dans certains cas à un risque d'exposition externe.
- Pour l'environnement : risque de contamination par dispersion non maîtrisée pouvant aboutir à une contamination de la chaîne alimentaire et pouvant être aggravée par un phénomène de concentration.

Conditionnement et tri

- Les emballages utilisés doivent répondre aux critères suivants :
 - Assurer un confinement efficace
 - Contenance adaptée au volume des déchets à éliminer
 - Facilité de décontamination (cartons et papiers prohibés)
 - Visualisation du niveau de remplissage et indication du niveau maximum de remplissage
 - Protection contre les rayonnements

Collecte du lieu de production au lieu de stockage sur site

- Récupération dans le laboratoire puis regroupement dans un local de décroissance

Stockage sur site

- Consulter l'introduction thématique.

Filières de traitement

Possibilités de prétraitement et de traitement interne

- Ces déchets sont traités en interne sous la responsabilité d'une personne compétente en radioprotection.
- Les déchets sont stockés afin que leur activité massique diminue et étiquetés avec la date de fermeture du sac et la date prévisible d'élimination par une filière adaptée.
- Ils peuvent être éliminés comme des déchets chimiques, biologiques ou des DIB selon la nature du déchet dans lequel le radioélément est incorporé, sous réserve que la mesure lors de l'élimination ne s'écarte pas de 1,2 fois du bruit de fond de la sonde.
- A la fin de la période de stockage, il convient de s'assurer de l'absence de radioactivité et de l'intégrité des emballages.

Possibilités de valorisation ou de recyclage sans frais

- Pas de possibilité

Traitement externe

- Traitement après décroissance selon la qualité chimique ou biologique du produit.

Bordereau de suivi de déchet

- Un registre des entrées et des sorties du local de décroissance doit être mis en place.

Aspect économique

- La gestion en décroissance organisée en interne n'engendre que des coûts de personnels et de locaux.

Conseils

- Il est recommandé de respecter les catégories de tri définies par l'ANDRA afin de pouvoir éliminer les déchets en cas d'incident survenant dans le local.

ANEXO B

LOCAIS DE COLETA DE RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

ROTEIRO “E” – VEÍCULO: GMM-7366
Abril de 2004

Fonte: SUPERINTENDÊNCIA MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE

LOCAIS DE COLETA ITINERÁRIO " E " VEÍCULO GMM 7366

ORDEM	HOSPITAL DAS CLINICAS		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	AV. ALFRÉDO BALENA 100	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
1		AV. BERNARDO MONTEIRO ALAMÉDA EZEQUIEL DIAS	8:15	8:20	8:20	8:20	8:15	8:15	
ORDEM	HOSPITAL SÃO GERALDO		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	AV. ALFRÉDO BALENA	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
2		AV. BERNARDO MONTEIRO ALAMÉDA ezequiel dias	8:55	8:55	9:00	8:50	8:50	8:35	
ORDEM	CENTRO ODONTOLÓGICO DA PM		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	RUA ÁLVARES MACIEL 58	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
3		AV. DO CONTORNO RUA MANÁUS	9:10	9:05	9:20	9:00	9:00		
ORDEM	HOSPITAL SANTA MARIA		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	AV. CONTORNO 4766	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
4		RUA CLÁUDIO MANOEL RUA SANTA RITA DURÃO	9:15	9:10	9:30	9:10	9:10	9:30	
ORDEM	HOSPITAL DOS ADVOGADOS		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	RUA MARTINHO CAMPOS 25	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
5		RUA OURO FINO RUA N.SH ^ª DAS GRAÇAS	9:25	9:25	9:40	9:20	9:20	9:40	
ORDEM	CLÍNICA SEBASTIÃO NELSON		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	AV. DO CONTORNO 5051	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
6		RUA LUZ RUA MONTE ALEGRE	9:45	9:40	10:00	9:40	9:40		
ORDEM	CENTRO ODONT. INT. E OUTROS		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	AV. DO CONTORNO 4849	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
7		RUA MONTE ALEGRE RUA ESTEVÃO PINTO	9:50	9:45	10:00	9:40	9:40		
ORDEM	CLIMON		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	RUA DO OURO 262	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
8		RUA CÍCERO FERREIRA X	9:55	9:50	10:05	9:45	9:45		
ORDEM	LABORATÓRIO NEC		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	AV. DO CONTORNO 6226	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
9		RUA ALAGÓAS RUA PERNAMBUCO	10:00	9:55	10:15	9:55	9:50	9:50	
ORDEM	LAB. HERMES PARDINI		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	AV. PRUDENTE DE MORAIS 31	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
10		AV. DO CONTORNO RUA JOAQUIM MURTINHO	10:05	10:00	10:25	10:00	10:00		
ORDEM	CLIN. JOSÉ MAURÍCIO FIGUEIREDO		HORÁRIO DE COLETA						
	ESQUINA	AV. RAJA GABAGLIA 561	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
11		X X	10:10	10:10	10:30	10:10			

LOCAIS DE COLETA ITINERÁRIO " E " VEÍCULO GMM 7366

ORDEM	CLÍNICA TEÓFILO TARANTO		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	RUA JUIZ DE FORA 1209	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
12		AV. AMAZONAS RUA MATÍAS CARDOSO	10:20	10:15	10:35	10:15	10:15	10:05	
ORDEM	HOSP. UNIVERSITÁRIO SÃO		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	RUA OURO PRETO S/N	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
13		RUA TIMBÍRAS RUA AIMORÉS	10:30	10:20	10:40	10:20	10:20	10:10	
ORDEM	HOSPITAL DA CRIANÇA		HORÁRIO DE COLETA						
	ESQUINA	RUA BERNARDINO DE LIMA 29	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
14		AV. DO CONTORNO X	10:45	10:40	11:00	10:35	10:25	10:20	
ORDEM	CLÍNICA VET. GUTIERREZ		HORÁRIO DE COLETA						
	ESQUINA	RUA ALMIRANTE ALEXANDRINO 10	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
15		AV. DO CONTORNO X	11:00	10:45	11:05	10:50	10:30	10:25	
ORDEM	HOSPITAL MADRE TERESA		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	AV. RAJA GABAGLIA 1002	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
16		X X	11:10	10:45	11:15	11:00	10:40	10:40	
ORDEM	CLÍNICA FRAU CENTER		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	AV. RAJA GABAGLIA 2400	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
17		X X	11:30	11:20	11:35	11:25	11:05		
ORDEM	CLÍNICA PERFIL		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	RUA PAULO FREIRE DE ARAÚJO 30	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
18		X X	11:35	11:25	11:40	11:30	11:10		
ORDEM	HOSPITAL LUXEMBURGO		HORÁRIO DE COLETA						
	ESQUINA	RUA ANTÔNIO FALCCI S/Nº	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
19		RUA GENTIOS X	18:10	11:30	11:50	11:35	11:20	11:00	
ORDEM	CLÍNICA VET. QUATRO PATAS		HORÁRIO DE COLETA						
	ESQUINA	RUA CONDE LINHARES 426	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
20		RUA GENTIOS X	18:00	11:50	12:25	12:05	11:40	9:55	
ORDEM	HOSPITAL SÃO BENTO		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	RUA CRUCIS 50	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
21		X X	17:45	11:55	12:35	12:20	11:50		
ORDEM	LAB. HERMES PARDINI		HORÁRIO DE COLETA						
	ENTRE	RUA LUIZ PAULO FRANCO 629	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
22		X X	11:45	12:05	12:50	12:40	12:00	10:00	

LOCAIS DE COLETA ITINERÁRIO " E " VEÍCULO GMM 7366

ORDEM	CLÍNICA LG.		HORÁRIO DE COLETA						
	RUA JORNALISTA DJALMA ANDRADE 36		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
23	ENTRE	X	11:55	12:10	12:55	12:45	12:05	11:20	
		X							

ORDEM	NÚCLEO DE CIRURGIA PLÁSTICA		HORÁRIO DE COLETA						
	RUA AFONSO COSTA REIS 99		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
24	ENTRE	X	12:00	12:15	13:00	12:50	12:10		
		X							

ORDEM	CLÍNICA BELVEDERE		HORÁRIO DE COLETA						
	RUA AFONSO COSTA REIS 65		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
25	ENTRE	X	12:05	12:20	13:05	12:55	12:15	11:25	
		X							

ORDEM	CLÍN. N. SENHª DE LOURDES		HORÁRIO DE COLETA						
	RUA SANTA FÉ 100		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
26	ENTRE	X	12:10	12:25	15:05	13:00	12:20		
		X							

ORDEM	CLÍNICA VÂNIA DINIZ		HORÁRIO DE COLETA						
	AV. BANDEIRANTES 1606		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
27	ENTRE	RUA ODILON BRAGA	12:25	12:30	13:10	13:05	12:25		
		RUA ASCÂNIO BULAMARQUE							

ORDEM	INSTITUTO HILTON ROCHA		HORÁRIO DE COLETA						
	AV. JOSÉ DO PATROCINO PONTES 1355		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
28	ENTRE	X	12:30	12:35	14:55	13:10	12:40		
		X							

ORDEM	CENTRO PSICOTERÁPICO		HORÁRIO DE COLETA						
	AV. BANDEIRANTES 1929		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
29	ENTRE	RUA ESTEVÃO PINTO	12:40	12:40	13:10	13:15	12:50		
		AV. AFONSO PENA							

ORDEM	HOSPITAL EVANGÉLICO		HORÁRIO DE COLETA						
	RUA DES. MÁRIO MATOS S/Nº		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
30	ENTRE	RUA DR. ALÍPIO GOULART	12:50	12:45	13:15	13:25	13:00	8:50	
		X							

ORDEM	C. HEMODIÁLISES H. EVANGÉLICO		HORÁRIO DE COLETA						
	RUA SACRAMENTO 225		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
31	COM	RUA DR. ALÍPIO GOULART	13:10	12:50	13:30	13:30	13:15		
		X							

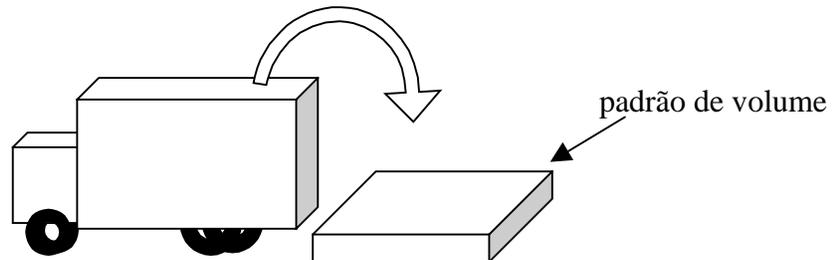
ORDEM	HOSPITAL AMR		HORÁRIO DE COLETA						
	RUA PROF. OTÁVIO MAGALHÃES 111		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
32	ENTRE	AV. BANDEIRANTES	13:25	13:05	13:40	13:50	13:35	9:15	
		X							

ORDEM	HOSP. EDUARDO MENEZES		HORÁRIO DE COLETA						
	AV. DR. CRISTIANO RESENDE S/Nº		SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SÁB	DOM
33	ENTRE	X	17:00	14:50	16:15	15:20	15:10	13:05	
		X							

ANEXO C

Marta de Freitas

Cálculo de tamanho de amostra supondo amostragem sistemática. (amostra 1 em cada K caminhões).



Medida 1 \Rightarrow (+) ou (-) $\Rightarrow \hat{p}$

Medida 2 \Rightarrow "Contagens por segundo" e tipo de radiofármaco \Rightarrow média

População

1) Total de caminhões em 30 dias úteis de coleta (segunda a sábado):

		"Caminhões"										
		Dias da Semana										
1 semana	segunda-feira	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	terça-feira	1	2	3	4	5	6	-	-	-	-	
	quarta-feira	1	2	3	4	5	6	7	-	-	-	
	quinta-feira	1	2	3	4	5	6	-	-	-	-	
	sexta-feira	1	2	3	4	5	6	7	-	-	-	
	sábado	1	2	3	4	5	-	-	-	-	-	

Na segunda-feira chegam 10 caminhões no aterro, na terça-feira 6, etc., dos diferentes roteiros.

Número de caminhões em uma semana = 41

Total (n) = 5x41 = 205 (aproximadamente)

2) n para estimar p = proporção diária de caminhões (+) com qual precisão?

$$|p_{\text{real}} - \hat{p}| < B$$

$$\hat{p} - B < p_{\text{real}} < \hat{p} + B$$

Exemplo:

Se $B = 0,5$ (0,005)

$\hat{p} = 0,10$ (10%)

\hat{p}

↓

$(0,095; 0,105) = (9,5\%; 10,5\%)$

Cuidado! Se \hat{p} for pequeno, zero estará incluído!

3) Expressão para cálculo de n:

$$n = \frac{N \times p \times (1-p)}{(N-1) \times D + p \times (1-p)} \quad \text{onde} \quad D = \frac{B^2}{4}$$

Para $N = 205 \Rightarrow p ?$

TABELA - Cálculo de tamanho de amostra para $N = 205$

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C2	C3	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C6	C7
B	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	N	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7
0,005	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5	0,015	0,025	205	90,0594	181,611	202,136	203,763	203,960	188,715	194,810
0,010	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5	0,015	0,025	205	33,5785	135,300	194,006	200,139	200,902	152,396	169,529
0,020	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5	0,015	0,025	205	9,5703	66,980	167,120	186,849	189,534	86,109	111,600
0,030	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5	0,015	0,025	205	4,3667	36,371	135,762	168,230	173,200	49,920	71,105

Se $N = 2460$

TABELA - Cálculo de tamanho de amostra para $N = 2460$

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C2	C3	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C6	C7
B	p1	p2	p3	p4	p5	p6	p7	N	n1	n2	n3	n4	n5	n6	n7
0,005	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5	0,015	0,025	2460	150,145	963,799	2.101,19	2.292,24	1.317,53	1.205,77	1.508,73
0,010	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5	0,015	0,025	2460	39,337	341,212	1.461,63	1.902,94	1.974,48	476,68	698,46
0,020	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5	0,015	0,025	2460	9,954	95,207	659,12	1.133,14	1.240,17	139,43	221,86
0,030	0,001	0,01	0,1	0,3	0,5	0,015	0,025	2460	4,434	43,244	344,18	676,82	765,62	63,98	103,80

Sugestão:

$N = 205$

$p = 1\% \Rightarrow n = 36$

($B = 0,03$ ou 3%)

$K < \frac{205}{36} = 5,7 \Rightarrow$ usar $K = 5$

1 Sortear um número entre 1 e 5 (foi sorteado o número 2)

segunda-feira	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
terça-feira	1	2	3	4	5	6				
quarta-feira	1	2	3	4	5	6	7			
quinta-feira	1	2	3	4	5	6				
sexta-feira	1	2	3	4	5	6	7			
sábado	1	2	3	4	5					

Iniciando-se as medidas no caminhão n°. 2 de segunda-feira, a próxima medida deve ser feita no caminhão n°. 7 de segunda-feira, no n°. 2 de terça-feira, nos 1° e 6° de quarta-feira, no 4° de quinta-feira, no 3° de sexta-feira, no 1° de sábado e na segunda-feira seguinte no 1° e assim até completar o número de 36 caminhões.