

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Cristiane Akemi Uehara

**SEGURANÇA NA DISPOSIÇÃO DOS REJEITOS
RADIOATIVOS EM SERVIÇOS DE SAÚDE**

Taubaté - SP
2011

CRISTIANE AKEMI UEHARA

**SEGURANÇA NA DISPOSIÇÃO DOS REJEITOS
RADIOATIVOS EM SERVIÇOS DE SAÚDE**

Monografia apresentada para obtenção do certificado de especialização em engenharia de segurança do trabalho do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Taubaté.

Orientadora: Maria Judith M. Salgado Schmidt

**Taubaté - SP
2011**

CRISTIANE AKEMI UEHARA

**SEGURANÇA NA DISPOSIÇÃO DOS REJEITOS RADIOATIVOS EM SERVIÇOS
DE SAÚDE**

Monografia apresentada para obtenção do certificado de especialização em engenharia de segurança do trabalho do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Taubaté.

Data:

Resultado:

Banca Examinadora

Prof^a.: Msc Maria Judith M. Salgado Schmidt - Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof.: João Alberto Bajerl - Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof.: Msc Carlos Alberto Guimarães Garcez - Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

RESUMO

Os rejeitos radioativos precisam ser cuidados de forma adequada da mesma forma que qualquer resíduo convencional para não causarem danos ao homem e ao meio ambiente. A atuação da Higiene Ocupacional na gerência dos rejeitos radioativos significa realizar uma série de ações e procedimentos que inclui a coleta, a segregação, o transporte, a caracterização, o tratamento, o armazenamento e a deposição final do material radioativo, obedecendo-se aos requisitos de proteção aos trabalhadores, aos indivíduos do público e ao meio ambiente. As atividades inerentes à gerência de rejeitos radioativos devem ser consideradas e planejadas desde os estágios iniciais de qualquer projeto que envolva o uso de materiais radioativos. Nos estabelecimentos prestadores de serviços de saúde; tais como, hospitais, instituições de pesquisa, laboratórios e universidades, que desenvolvem atividades relacionadas à aplicação de técnicas nucleares, são gerados resíduos com aproveitamento ulterior não previsto. Os materiais mais comuns que constituem esses resíduos são compostos de luvas, papéis, algodão, seringas, vidros e mais tantos outros utilizados que, pelo contato com substâncias radioativas ficam contaminados; e, quando apresentam concentrações de atividade acima dos limites de isenção expressos em normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN e nas recomendações da Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA, recebem o nome de rejeitos radioativos. Este estudo permitiu compreender que a geração de rejeitos radioativos deve ser mantida a níveis mínimos praticáveis em termos de atividade e volume, como também, observar que as características químicas e biológicas desses rejeitos devem ser consideradas em todas as fases de sua gerência, porque além de minimizar os efeitos danosos da radiação, reduz os custos que possam advir de sua geração.

Palavras-chave: Saúde do trabalhador. Resíduos radioativos. Proteção radiológica.

ABSTRACT

Radioactive rejects need adequate cares likewise any conventional residue in order to avoid causing damages to the human being and the environment. The performance of the Occupational Hygiene on radioactive rejects management is composed by a series of actions and procedures that include collection, segregation, transport, characterization, treatment, storage and final deposition of the radioactive material, obeying the protection requirements for workers, the public and the environment. The inherent activities on radioactive rejects management must be considered and planned from the beginning of any project involving radioactive materials. On health establishment, research institutions, laboratories and universities, that develop activities related to the application of nuclear techniques, are generated residues which further recycling was not foreseen. The most common constituents of these materials are chirurgical gloves, paper, cotton, syringes, glass and others materials contaminated by contact with radioactive substances. When these materials present activity above of the limits recommended by norms of the National Commission of Nuclear Energy - CNEN and recommendations of the International Agency of Atomic Energy - IAEA, they are named radioactive rejects. The present study allowed us to understand that radioactive rejects production should be kept under practicable minimum levels in terms of activity and volume, as well as, to observe that the chemical and biological characteristics of these rejects should be considered in all the phases of their management. These procedures minimize the harmful effect of the radiation and reduce the involved costs.

Keywords: Workers health. Radioactive residues. Radiological protection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fenômeno da Radioatividade

Figura 2 Fluxograma de Gerência de Rejeitos Radioativos em Serviços de Saúde

Figura 3 Estratégia para a Gerência de Rejeitos Radioativos

Figura 4 Modelo da etiqueta para identificação de rejeito radioativo

LISTA DE TABELA

Tabela 1 Limites de dose recomendados pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP 60)

Tabela 2 Atividades máximas de radionuclídeos no corpo

Tabela 3 Níveis máximos de contaminação radioativa permitidos em recipientes

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	Objetivo	8
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1	A Descoberta da Radioatividade	9
2.2	Definições	10
2.3	Aplicações na Saúde.....	13
2.3.1	Terapias	13
2.3.2	Diagnósticos	15
2.4	Higiene Ocupacional e Proteção Radiológica.....	18
2.4.1	Norma regulamentadora 32.....	22
2.4.2	Institutos da CNEN que recebem rejeitos radioativos.....	24
3	MÉTODOS.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
4.1	Etapas da Gerência de Rejeitos Radioativos.....	26
4.2	Segregação na Origem.....	31
4.3	Acondicionamento.....	34
4.4	Pré-Tratamento de Rejeitos Radioativos	36
4.5	Caracterização Primária e Identificação	37
4.6	Eliminação de Rejeitos Radioativos por Via Convencional.....	39
4.7	Coleta e Transporte Interno	41
4.8	Armazenamento	42
4.9	Registro e Manutenção de Inventário Atualizado	45
4.10	Transporte Externo	46
4.11	Procedimentos de Entrega de Rejeitos Radioativos à CNEN.....	47
4.12	Como Minimizar os Efeitos da Radiação Ionizante.....	48
4.13	Controle à Exposição.....	49
5	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

O trabalho foca a segurança na disposição dos rejeitos radioativos em serviços de saúde, na REVISÃO DA LITERATURA são demonstradas contribuições técnicas e pesquisas literárias. A METODOLOGIA utilizada está baseada nas pesquisas em *sites* especiais e em bibliografia especializada. Os RESULTADOS apresentados informam tabelas, etapas e as principais normas, detalhando os conceitos e as legislações que devem ser atendidas para a segurança do trabalhador na disposição dos rejeitos radioativos em serviços de saúde. A CONCLUSÃO ressalta importância à observância nas normas aplicáveis onde os riscos de acidentes em serviços na disposição dos rejeitos radioativos em serviços de saúde são minimizados.

1.1 Objetivo

Apresentar a importância das normas de referências para segurança do trabalho na disposição dos rejeitos radioativo em serviços de saúde.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A medicina foi a área pioneira na aplicação das radiações ionizantes, logo após a descoberta dos raios-X e pode-se dizer que a evolução dessa área está associada à própria evolução da tecnologia nuclear.

A medicina nuclear é uma especialidade médica que se ocupa das técnicas de diagnóstico e terapia. Para cada uma das técnicas são produzidas e utilizadas substâncias radioativas específicas em forma de fontes abertas que permite o diagnóstico ou a terapia de um grande número de doenças, especialmente o câncer.

A manipulação do material radioativo nos serviços de saúde gera rejeitos radioativos, os quais devem ser gerenciados de forma segura a fim de proteger homem e o meio ambiente.

A gerência de rejeitos radioativos é o conjunto de atividade técnicas e administrativas envolvidas desde a coleta, segregação, caracterização, tratamento, acondicionamento, transporte, armazenamento, controle, registro até o destino final.

2.1 A Descoberta da Radioatividade

O homem sempre conviveu com a radioatividade. Na superfície terrestre pode ser detectada energia proveniente de raios cósmicos e da radiação solar ultravioleta. Nas rochas, encontramos elementos radioativos, como o urânio-238, urânio-235, tório-232, rádio-226 e rádio-228. Até mesmo em vegetais pode ser detectada a radioatividade: as batatas, por exemplo, contêm potássio-40. As plantas, o carbono-14. No nosso sangue e ossos encontram-se potássio-40, carbono-14 e rádio-226 (COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN, 2011).

O fenômeno da radioatividade, conforme Figura 1, foi descoberto pelo físico francês Henri Becquerel, em 1896. Becquerel realizou diversos estudos e verificou que sais de urânio emitiam radiação semelhante à dos raios-X, impressionando chapas fotográficas.

Se um átomo tiver seu núcleo muito energético, ele tenderá a estabilizar-se, emitindo o excesso de energia na forma de partículas e ondas.

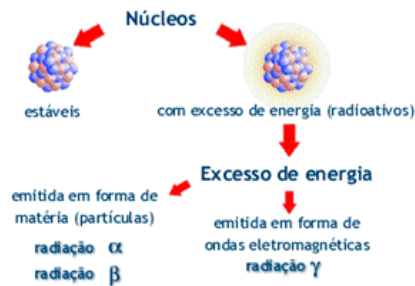


Figura 1 Fenômeno da Radioatividade

Fonte: www.cnem.gov.br

2.2 Definições

- Radiação

É uma forma de energia que se propaga através da matéria ou do espaço em forma de onda ou partícula e radiação ionizante é qualquer radiação que retira ou desloca elétrons dos átomos, produzindo íons (GLOSSÁRIO CNEN, 2011). Enquanto que, radioatividade é a propriedade que certos elementos químicos de elevado peso atômicos (tório, rádio, urânio, etc.) têm de emitir espontaneamente energia e partículas subatômicas (partículas alfa, beta, neutrinos, raios gama) (MENDES, 1991).

- Radiações eletromagnéticas ionizantes

São ondas eletromagnéticas de altíssima frequência, que possuem grande poder de ionização. Possuem energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos constituintes da matéria, podendo gerar rupturas de ligações moleculares e conseqüentemente alteração em nível celular (DNA) – ação mutagênica. Entre esse tipo de radiação estão: α , β , X, γ e radiação de nêutrons; que produzem enquanto fenômeno físico, a ionização da matéria (NOGUEIRA, 1984).

As radiações eletromagnéticas ionizantes podem ser classificadas como:

- Radiações alfa (α)

São partículas que possuem massa, carga elétrica, velocidade e está associada à emissão de átomos de hélio em função de sua massa atômica, pequeno poder de penetração e grande poder de ionização, ou seja, perda de sua energia (CNEN, 2011).

Características físicas: a partícula alfa é semelhante ao núcleo de hélio, emitidas em alta velocidade. É constituída de dois prótons e dois nêutrons, tendo carga positiva (+2). Muitos

radionuclídeos naturais como, urânio, tório, bismuto, radônio emitem várias radiações alfa, em suas transições nucleares.

Alcance: apresentam uma grande quantidade de energia em curtas distâncias e limitado poder de penetração. Para partículas alfa originadas em decaimento radioativo, o alcance no ar é cerca de 2cm a 5cm.

Blindagem: a maior parte dessas partículas não consegue atravessar mais do que alguns poucos centímetros de ar, uma folha de papel ou a camada externa da pele.

Danos biológicos: Para exposições externas, são inofensivas pois não conseguem atravessar as primeiras camadas epiteliais. Porém, quando os radionuclídeos são ingeridos ou inalados, por mecanismos de contaminação natural ou acidental, as radiações alfa, quando em grande quantidade podem causar danos significativos na mucosa que protege os sistemas respiratório e gastrointestinal e nas células dos tecidos adjacentes (SEGURANÇA E TRABALHO, 2011).

- Radiações beta (β)

São também partículas que possuem massa, carga elétrica e velocidade mas relaciona-se com elétrons procedentes do núcleo atômico.

Características físicas: possui pequena massa e tem carga negativa. A partícula beta de carga negativa (carga -1) é fisicamente igual a um elétron; a partícula beta de carga positiva (carga $+1$) é chamada pósitron.

Alcance: depende da energia das partículas beta geradas em decaimentos radioativos; seu alcance no ar é de até 3m, por apresentar massa da ordem de 1.840 vezes menor que a do próton. O elétron penetra mais facilmente na matéria em comparação à radiação alfa.

Blindagem: a maior parte das partículas beta é blindada por camadas finas de plástico, vidro ou alumínio.

Danos biológicos: Seu poder de penetração é pequeno e depende de sua energia. Para o tecido humano, consegue atravessar espessura de alguns milímetros. Esta propriedade permite aplicações médicas em superfícies da pele ou na aceleração da cicatrização de cirurgias plásticas ou do globo ocular (SEGURANÇA E TRABALHO, 2011).

- Radiação gama (γ) e raios X

São fótons de altíssima energia, e, portanto, de frequência elevada. As emissões gama são oriundas do núcleo instável, apresentando energias maiores que as dos raios X.

Características físicas: são ondas eletromagnéticas, ou fótons, e não possuem massa nem carga. A diferença entre os raios X e os raios gama está na sua origem: enquanto os raios X são originados por movimento de elétrons entre orbitais, os raios gama têm origem no núcleo do átomo.

Raios X e raios gama podem ionizar diretamente, por interação com elétrons orbitais, ou indiretamente, por interação com o núcleo, que irá então emitir radiação capaz de provocar ionização. A radiação por raios X representa a emissão de fótons de energia conhecida como raios X liberados no processo de desexcitação da eletrosfera. Possuem características semelhantes às dos raios gama, porém com energias expressas na ordem de keV, enquanto as radiações do tipo gama são da ordem de MeV.

Alcance: como não têm carga ou massa, o poder de penetração é alto e a atenuação depende da energia. Raios X ou gama, iniciados por decaimento radioativo, podem avançar por dezenas de metros no ar. Por se uma radiação bastante penetrante conforme sua energia, é capaz de atravessar grandes espessuras. Por isso, é bastante utilizada em aplicações médicas de radioterapia e aplicações industriais, como medidores de nível e gamagrafia.

Blindagem: os raios X ou gama são, principalmente, fontes da exposição externa; pode-se observar que causam danos mais profundos no organismo humano em função do seu poder de penetração. Em relação à quantidade de radiação emitida, observa-se que a origem da radiação gama é cerca de mil vezes maior que a radiação X, em função do nível de energia envolvido (MENDES, 1991).

- Radiação de nêutrons (N)

São partículas de um subproduto de muitas reações, podem ser produzidos por vários dispositivos como, reatores nucleares, aceleradores de partículas providos de alvos especiais e por fontes de nêutrons. Neles são induzidas reações nucleares por meio de feixes de radiação [reações (γ, n) , (p, n) , (α, n)], por radioisótopos [reações (α, n)] ou por fissão (quebra do núcleo do átomo). Se forem lentos, com energias cinéticas da ordem de eV, são denominados térmicos e podem ser capturados pelos núcleos, pois os nêutrons não são repelidos por esses. Iniciam-se dessa maneira reações nucleares em cadeia. Também são gerados quando núcleos são bombardeados com partículas energéticas. Os nêutrons rápidos possuem energias cinéticas da ordem de 1 MeV. São capazes de colidir com vários núcleos e produzir bastante ionização antes de perder sua energia cinética.

Características físicas: são ejetados do núcleo dos átomos; têm massa semelhante à do próton; e são cerca de 1.800 vezes mais pesados que uma partícula beta. Por causa de sua massa e por terem carga neutra, os nêutrons geralmente não são capazes de ionizar diretamente ou de interagir com elétrons orbitais. O que ocorre, usualmente, é a colisão do nêutron com um núcleo. Uma partícula carregada ou outra radiação pode ser emitida após a colisão, ionizando átomos vizinhos (MENDES, 1991).

Alcance (comprimento de atenuação): por sua massa e ausência de carga, os nêutrons têm uma habilidade de penetração relativamente alta (podem atravessar dezenas de metros no ar) e por isso são difíceis de serem blindados ou detectados. Assim, como a radiação gama, a atenuação de nêutrons depende da energia que ela possui.

Blindagem: os melhores materiais para a blindagem de nêutrons são os que têm grande quantidade de hidrogênio ou número atômico baixo, como concreto, terra, água, plástico ou parafina.

Danos biológicos: são principalmente, fontes de exposição externa, devido à sua capacidade de penetração; nesse caso, apresentam maior dose de radiação na exposição se comparados com as outras radiações descritas. Das radiações apresentadas são as que causam maior dano biológico aos órgãos e tecidos dos seres humanos, podendo ocasionar a morte de células em face de seu poder de penetração e grande liberação de energia na matéria.

2.3 Aplicações na Saúde

2.3.1 Terapias

- Radioterapia

Consiste em eliminar tumores malignos (cancerígenos) utilizando radiação gama, raios X ou feixes de elétrons. O princípio básico é eliminar as células cancerígenas e evitar sua proliferação, e estas serem substituídas por células saudáveis.

O tratamento consiste na aplicação programada de doses elevadas de radiação, com a finalidade de matar as células alvo e causar o menor dano possível aos tecidos saudáveis intermediários ou adjacentes. Como as doses aplicadas são muito altas, os pacientes sofrem danos orgânicos significativos e ficam muito debilitados. Por isso é cuidadosamente acompanhado por terapeutas, psicólogo, apoio quimioterápico e de medicação. Os pacientes irradiados não ficam radioativos e, assim, podem ser manipulados e carregados normalmente. Os irradiadores, denominados de Bombas de Co-60, possuem uma fonte radioativa de alta atividade, cerca de 3000 Curies, circundada por uma blindagem muito grande e com uma

janela de saída de um feixe colimado, após a retirada de um obturador. Trata-se de um equipamento portador de uma fonte radioativa de alta atividade e que, não pode ser desligado.

Quando ocorre uma queda na rede elétrica, a fonte é recolhida na posição de máxima blindagem e o obturador é fechado. Deve ser operado por técnicos bem treinados e em salas especiais, dotadas de dispositivos de segurança para paciente, operador e toda a instalação. Uma fonte destas, exposta ao ar livre pode causar exposições muito elevadas no público, inclusive mortes. Entretanto, pela sua constituição e funcionamento, ela nunca pode explodir e tem baixa probabilidade de causar danos ambientais, uma vez que a fonte é constituída de pastilhas metálicas de Co-60, insolúveis e de alta resistência mecânica ao fracionamento. Isto tudo não vale para uma Bomba de Cs-137, constituída de um sal altamente solúvel de cloreto de cério, encapsulado num frasco metálico, com janela de saída muito fina. Daí o desastre humano e ecológico do acidente de Goiânia ocorrido em 1987. Felizmente este tipo de equipamento, além de ultrapassado e ineficiente, não é mais fabricado desta maneira.

- Braquiterapia

Trata-se de uma radioterapia localizada para tipos específicos de tumores e em locais específicos do corpo humano. Para isso são utilizadas fontes radioativas emissores de radiação gama de baixa e média energia, encapsuladas em aço inox ou em platina, com atividade da ordem de dezenas de Curies. Os isótopos mais utilizados são Ir-192, Cs-137, Ra- 226. As fontes são colocadas próximas aos tumores, por meio de aplicadores, durante cada sessão de tratamento. Sua vantagem é afetar mais fortemente o tumor, devido à proximidade da fonte radioativa, e danificar menos os tecidos e órgãos próximos. Devem ser manipuladas por técnicos bem treinados e oferecem menor risco que a Bomba de Co-60. Os pacientes não podem se deslocar da clínica, portando estas fontes, pois podem causar acidentes em outras pessoas. Assim, a manipulação e a guarda destas fontes devem ser seguras e cuidadosas. Durante a aplicação, a fonte emite radiação de dentro do paciente e, assim, o operador e outras pessoas não devem permanecer por muito tempo, próximos. Após a retirada da fonte, nada fica radioativo.

- Aplicadores

São fontes radioativas beta emissoras distribuídas sobre uma superfície, cuja geometria depende do objetivo do aplicador. O Sr-90 é um radionuclídeo muito usado em aplicadores dermatológicos e oftalmológicos.

O princípio de operação é a aceleração do processo de cicatrização de tecidos submetidos a cirurgias, evitando sangramentos (operação de pterígio) e quelóides (cirurgia plástica), de modo semelhante a uma cauterização superficial. A atividade das fontes radioativas é baixa e não oferecem risco de acidente significativo sob o ponto de vista radiológico. O importante é o controle do tempo de aplicação no tratamento, a manutenção da sua integridade física e a guarda adequada dos aplicadores.

- Radioisótopos

Alguns tratamentos utilizam medicamentos contendo radioisótopos, inoculados no paciente por meio de ingestão ou injeção, com a garantia de sua deposição preferencial em determinado órgão ou tecido do corpo humano. Por exemplo, isótopos do iodo para o tratamento de câncer na tireóide.

Um paciente submetido a este tratamento torna-se uma fonte radioativa, pois as radiações gama, além de acertar os tecidos alvos, podem sair com intensidade significativa da região de deposição e atingir pessoas nas proximidades. Neste caso, devem-se utilizar radioisótopos de meia-vida curta, para facilitar o breve retorno do paciente à sua casa, sem causar irradiação significativa a seus familiares ou pessoas próximas. Outra garantia, é a atividade do radioisótopo aplicado não ultrapassar os valores estabelecidos nos procedimentos médicos ou nas recomendações de radioproteção.

2.3.2 Diagnósticos

- Radiografia

A radiografia é uma imagem obtida, após um feixe de raios X ou raios gama, atravessar a região de estudo e interagir com uma emulsão fotográfica ou tela fluorescente.

Existe uma grande variedade de tipos, tamanhos e técnicas radiográficas. As mais conhecidas são as de radiologia oral (periapicais, panorâmicas e cefalométricas), radiologia de tórax (pulmão, trato gastrointestinal, sistema reprodutivo, bacia), de membros (braços, mãos, pernas), de crânio, cérebro e coluna. Para estas aplicações utilizam-se raios X com energia adequada, estabelecida pela kilovoltagem da máquina, e tempo de exposição apropriado para a corrente elétrica utilizada.

As doses absorvidas de radiação dependem do tipo de radiografia, mas estão na faixa de 0,1 (crânio) a 10 miliGray (mGy) (intestino grosso). A dose absorvida é definida como a razão entre a energia absorvida e a massa do volume do tecido atingido pela radiação. Sua

unidade é denominada de Gray (Gy)= Joule/kg. O miligray (mGy) é a milésima parte do Gray. O cuidado que se deve ter é que, devido ao caráter acumulativo da radiação ionizante para fins de produção de efeitos biológicos, não se deve tirar radiografia sem necessidade e, principalmente, com equipamentos fora dos padrões de operação. O risco de dano é maior para o operador, que executa rotineiramente muitas radiografias por dia. Para evitar exposição desnecessária, ele deve ficar o mais distante possível, no momento do disparo do feixe ou protegido por um biombo com blindagem de chumbo. Obviamente que, as pessoas submetidas a radiografias não ficam radioativas, e nem as salas de operação.

- Tomografia

O princípio da tomografia consiste em ligar o tubo de raios X a um filme radiográfico por um braço rígido que gira ao redor de um determinado ponto, situado num plano paralelo à película. Assim, durante a rotação do braço, produz-se a translação simultânea e homotética do foco (alvo) e do filme. Assim, os pontos do plano de corte dão uma imagem nítida, enquanto que nos demais planos, a imagem sai borrada. Desta forma, obtêm-se imagens de planos de cortes sucessivos, como se observássemos fatias seccionadas, por exemplo, do cérebro.

A tomografia convencional não consegue diferenciar adequadamente tecidos moles e, conseqüentemente, muitas informações vitais não são obtidas. Na tomografia computadorizada esta deficiência é superada com a melhoria da colimação, introdução de centenas de detectores no lugar do filme radiográfico e vários recursos de melhoria, contrastes e reconstrução da imagem.

Um dos principais problemas da tomografia computadorizada é que, durante o tempo de exame, (cerca de 5 minutos) o paciente não pode mover, por exemplo, a cabeça, sob pena de danificar a imagem. Máquinas modernas apresentam um tempo de exame mais reduzido com a adição de maior número e melhor qualidade de detectores e de mais feixes de raios X.

Da mesma maneira que a radiografia, não apresenta riscos de acidente com a máquina, pois é operada por eletricidade, e o nível de exposição à radiação é similar. Não se devem realizar exames tomográficos sem necessidade, devido à acumulação de dose de radiação. A dose absorvida por um paciente numa tomografia da cabeça é cerca de 2 mGy e de tórax , cerca de 8 mGy.

- Mamografia

A mamografia constitui, hoje, um instrumento poderoso para a redução de mortes por câncer de mama. Como o tecido da mama é difícil de ser examinado com o uso de radiação penetrante, devido às pequenas diferenças de densidade e textura de seus componentes como, tecido adiposo e fibroglandular, a mamografia possibilita somente suspeitar e não diagnosticar um tumor maligno. O diagnóstico é complementado com o uso de biópsia e ultrasonografia. Com estas técnicas, permite a detecção precoce em pacientes assintomáticas e imagens de melhor definição em pacientes sintomáticas. A imagem é obtida com o uso de um feixe de raios X de baixa energia, produzidos em tubos especiais, após a mama ser comprimida entre duas placas. As características de operação do mamógrafo, da processadora e da combinação filme-écran, permitem a obtenção de boas imagens.

O risco associado à exposição à radiação é mínimo, principalmente quando comparado com o benefício obtido. A chance de acidentes é muito pequena devido às características do feixe de raios X utilizado, a geometria de irradiação e por constituir um aparelho operado eletricamente.

- Mapeamento com radiofármacos

O uso de traçadores ou marcadores é comum. A marcação de aves e peixes pela fixação de anéis identificadores em seu corpo é usada para estudar os seus hábitos migratórios e reprodutivos. Assim, é possível determinar para onde eles vão, como também, quantos migram para um determinado local. O traçador radioativo tem o mesmo objetivo, porém os elementos marcados são moléculas de substâncias que se incorporam ou são metabolizadas pelo organismo do homem, de uma planta ou animal. Por exemplo, o iodo-131 é usado para seguir o comportamento do iodo-127, estável, no transcurso de uma reação química in vitro ou no organismo. A molécula da vitamina B-12 marcada com cobalto-57, glóbulos vermelhos marcados com cromo-51, podem ser identificados externamente por detectores, durante seu transcurso no organismo, uma vez que em termos metabólico tudo é igual ao material estável.

Utilizando o radioisótopo Tecnécio-99m, em diferentes moléculas químicas, podem-se realizar exames de medula óssea, pulmão, coração, tireóide, rins e cérebro. Utilizando detectores de cintigrafia, gama-câmaras, pode-se obter com a aplicação de 600 MBq (megaBecquerel) do radiofármaco 99mTc-MDP imagens do osso e medula; com 830 MBq de 99mTc-MIBI, imagens do miocárdio; com 350 MBq de 99mTc-DTPA uma imagem dos rins; com 500 MBq de 99mTc-HMPAO do cérebro.

Nestes exames, a irradiação da pessoa é inevitável, mas deve-se cuidar para que ela seja a menor possível. A dose de radiação é proporcional à atividade administrada que deve ser a suficiente para ser bem detectada externamente, nunca excessiva. O paciente fica emitindo radiação enquanto a atividade administrada nele for significativa. Por isso devem ser usados radioisótopos de meia-vida curta e tempo de residência pequeno. Os enfermeiros e pessoas que se aproximam também ficam sujeitos à irradiação.

- Proteção Radiológica

O principal objetivo da proteção radiológica é proporcionar um padrão de proteção ao ser humano sem limitar os benefícios decorrentes da utilização das radiações ionizantes. As recomendações publicadas pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica – ICRP (ICRP, 1991) servem de subsídio para elaboração das normas e regulamentos emitidos pelos órgãos nacionais de regulamentação de diversos países. Em relação às instalações radiativas e nucleares brasileiras, cabe à Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, emitir normas e regulamentações pertinentes ao uso de material radioativo e de fontes de radiação ionizante, assim como, estabelecer as normas de proteção radiológica (CNEN-3.01, 2005).

Na área médica de radiodiagnóstico, o órgão regulador é o Ministério da Saúde, por meio da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que estabeleceu as diretrizes básicas de proteção radiológica em radiodiagnóstico médico e odontológico (MS, 1998).

2.4 Higiene Ocupacional e Proteção Radiológica

Radioproteção é o conjunto de medidas que visam proteger o ser humano e o meio ambiente de possíveis efeitos nocivos causados pela radiação ionizante (CNEN,2011).

Todos os procedimentos de radioproteção devem ser de acordo com o disposto na norma CNEN-NE-3.01 Diretrizes Básicas de Radioproteção. De uma maneira geral, as doses devidas às radiações ionizantes podem ser reduzidas através de três fatores (CNEN-3.01, 2005):

- Tempo de Exposição: as doses devidas às radiações ionizantes são diretamente proporcionais ao tempo que um indivíduo fica exposto a uma fonte de radiação.
- Desta forma, toda atividade envolvendo fontes de radiação, deve ser cuidadosamente planejada de forma a minimizar o tempo gasto na sua execução.

- **Distância:** a dose recebida por exposição a fontes de radiação é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a fonte e o indivíduo exposto. Isto significa que, se a distância entre a fonte e a pessoa exposta for duplicada, a dose recebida será quatro vezes menor, e se a distância for triplicada, a dose será nove vezes menor. É conveniente se manipular fontes de radiação à distância, através de mecanismos como pinças.
- **Blindagem:** a blindagem deve, obrigatoriamente, fazer parte do projeto de qualquer instalação onde se pretenda manusear, processar ou armazenar material radioativo. Em situações que exijam a exposição de pessoas à radiação e não se possa contar com uma blindagem, devem-se utilizar da melhor forma possível, os fatores tempo de exposição e distância.

Quando se manipula ou se está exposto a fontes de radiação não seladas, principalmente nos estados líquido, gasoso, em forma de pó ou vapores, além do risco de irradiação de pessoas, existe a possibilidade de contaminação. Esta contaminação pode ser externa (pele e cabelos) ou interna (através da inalação, ingestão ou absorção pela pele ferida ou sadia). Para evitar a contaminação, deve-se fazer uso de equipamentos de proteção individual como aventais, sapatilhas, luvas, máscaras, etc (CNEN-3.05, 1996).

Em instalações radiativas, o plano de radioproteção deve conter as seguintes instruções para o manuseio de radioisótopos (CNEN-3.02, 1988):

- manter os locais onde são manuseados e/ou armazenados materiais radioativos em perfeitas condições de ordem e higiene;
- manusear somente material radioativo que tenha as menores atividades possíveis (toxicidade, meia-vida, etc). de respingos, como durante a limpeza de materiais, deve-se sobrepor um avental plástico;
- não fumar, comer, beber ou aplicar cosméticos nos locais onde forem manipulados e/ou armazenados radioisótopos ou rejeitos radioativos;
- usar sempre um avental de algodão e de manga comprida. Em casos de haver a possibilidade;

- usar sempre o filme dosimétrico, que é pessoal e intransferível. Usar dosímetro individual de extremidade, durante a operação de diluição em geradores de Tecnécio e durante o preparo, ensaio e administração de radioisótopos a pacientes;
- forrar todas as superfícies de trabalho com plástico e papel absorvente. Como também, preparar bandejas metálicas forradas com papel impermeável e absorvente para todas as manipulações com radioisótopos;
- antes de iniciar o procedimento, selecionar o material a ser utilizado, dispondo-o de maneira mais conveniente. Tratando-se de um trabalho novo, executá-lo uma vez sem o material radioativo;
- preparar tantos recipientes para rejeitos, devidamente rotulados e identificados, quantos forem necessários, de acordo com a segregação definida para a instalação.
- utilizar capelas para manipular materiais voláteis ou pulverizados;
- utilizar meios seguros para o deslocamento de radioisótopos e rejeitos radioativos.
- reduzir ao máximo o tempo de exposição ao material radioativo;
- usar luvas de borracha ao manusear radioisótopos. Verificar, com frequência, se as luvas estão contaminadas. Não tocar com as luvas contaminadas os puxadores de armários, bancos, aparelhos, monitores, etc. Abrir torneiras com o antebraço ou o dorso da mão, caso sejam manuais;
- não tocar o rosto ou qualquer parte do corpo, com a luva contaminada. Em caso de resfriado, usar lenços descartáveis;
- ao terminar os trabalhos, lavar bem as luvas em solução com detergente. E verificar, com auxílio do monitor de contaminação, se estão devidamente descontaminadas; caso contrário, segregá-las como rejeito radioativo;
- é terminantemente proibido pipetar com a boca ou usar a pipeta para qualquer outra manobra de transferência;
- para ajustar seringas ou pipetas, usar gaze esterilizada ou pedaços de papel de filtro forrados com material impermeável;
- colocar todo material contaminado nas bandejas previamente preparadas e devidamente marcadas com os rótulos de material radioativo;
- absorver as soluções radioativas respingadas ou derramadas imediatamente com algodão ou papel absorvente e verificar o nível de contaminação local;
- armazenar os radioisótopos considerando também os aspectos químicos, biológicos e farmacêuticos;

- rotular os frascos com soluções de várias doses de radiofármacos e os frascos com soluções terapêuticas, com nome, atividade e data de recebimento ou de preparo de radioisótopo;
- manter os radioisótopos e rejeitos radioativos em locais contendo blindagens e devidamente sinalizados;
- manter atualizado o registro de recebimento de radiofármacos;
- registrar diariamente a atividade das doses utilizadas e a atividade restante no fim do expediente;
- monitorar, com monitor de contaminação, mãos e roupas, sempre que houver suspeita de contaminação e ao término da jornada de trabalho;
- monitorar diariamente, com monitor de contaminação, as áreas de preparo e administração de doses e, quando necessário, descontaminar ou isolar a área;
- monitorar semanalmente as áreas de armazenamento de radioisótopos e de rejeitos radioativos e, quando necessário, descontaminar ou isolar a área.

As radiações ionizantes são utilizadas, na área de saúde, para fins diagnósticos e terapêuticos. No ambiente hospitalar, os riscos da radiação ionizante se localizam nas áreas de radiodiagnóstico e radioterapia, incluindo os centros cirúrgicos e unidades de terapia intensiva. Vários cuidados e precauções devem ser tomados para evitar a exposição desnecessária às radiações ionizantes (XAVIER *et al.*, 1998). Sistemas de contenção, sinalização, orientação e uso de equipamentos de proteção individual específicos de radioproteção devem ser disponibilizados nos serviços de saúde. No ambiente laboratorial, também devem ser seguidas as normas de segurança para a manipulação e descarte de materiais radioativos, sinalização da área de risco, uso de equipamentos de radioproteção e dosímetros para avaliação periódica (MTE, 2005).

As pessoas envolvidas na administração de doses terapêuticas e/ou na supervisão de pacientes com doses terapêuticas deverão observar os seguintes preceitos (XAVIER *et al.*, 1998):

- instruir os pacientes internados quanto a procedimentos de radioproteção necessários, relativos aos rejeitos e ao uso das instalações sanitárias;
- manter papel absorvente e recipiente para rejeitos no quarto com paciente internado, durante a sua permanência;

- instruir por escrito os eventuais visitantes autorizados quanto aos riscos envolvidos e quanto a procedimentos de radioproteção;
- instruir por escrito os pacientes a serem liberados quanto a procedimentos de radioproteção a serem seguidos em sua residência;
- monitorar vestimentas pessoais, roupas de cama e de banho de pacientes internados que foram submetidos a doses terapêuticas, antes de encaminhá-las à lavanderia. No caso de presença de contaminação, acondicionar as roupas em sacos plásticos, armazená-las em local com blindagem até que decaiam a níveis aceitáveis e possam ser lavadas;
- após a desocupação do quarto onde for feita a aplicação terapêutica, todos os materiais que serviram de cobertura para objetos deverão ser removidos e colocados em recipientes apropriados, forrados com sacos plásticos, segregando-se o material contaminado. Os recipientes com material contaminado deverão ser transferidos para área de descontaminação ou de armazenamento de rejeitos;
- em caso de óbito após dose terapêutica, o cadáver deverá ser envolto em plástico e colocado em caixão que será seguramente lacrado. Caso a taxa de dose a 1 metro do caixão seja superior a 50mSv/h, não deve haver velório e nem cremação.

2.4.1 Norma regulamentadora 32

Em constante exposição aos mais variados riscos e situações, o serviço de saúde brasileiro ganhou um aliado, a norma regulamentadora 32 (Segurança e Saúde no Trabalho em Estabelecimentos de Saúde). Com essa norma, acidentes com perfurocortantes, contatos com os quimioterápicos antineoplásicos (medicamentos que auxiliam principalmente no tratamento do câncer), exposição à radiação ionizante, mau gerenciamento dos resíduos produzidos pelos serviços de saúde, assim como, falta de treinamento e capacitação continuada, terão que passar por uma reestruturação. A NR-32 não abrange apenas os hospitais, mas todos os estabelecimentos destinados à promoção e assistência à saúde em geral (MTE, 2005).

Os profissionais que atuam nos ambientes de risco expostos à radiação ionizante pertencem aos setores de radiologia, medicina nuclear, radioterapia, bloco cirúrgico. A NR-32 trata das responsabilidades do titular de uma instalação e do supervisor de proteção radiológica ou mesmo do trabalhador, de forma equilibrada. Também define os organismos de representação do trabalhador na instalação, por exemplo, a comissão interna de prevenção de acidentes

(CIPA) como elemento essencial na concepção e operacionalização do plano de radioproteção. A respectiva norma chama a atenção para os resíduos radioativos gerados nas instalações, exigindo sua segregação em função do estado físico, tipo de radiação, taxa de exposição e meia-vida física, devendo ser tratados conforme disposto na resolução CNE NNE- 6.05 Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas.

Outro aspecto importante da NR-32 é a incorporação definitiva no PPR (plano de proteção radiológica) de uma instalação, da categoria de trabalhadores para ocupacionalmente expostos como aqueles ligados às atividades de limpeza e manutenção que, muitas vezes, por exigência do trabalho são impelidos a atuar junto às fontes de radiação, porém nunca tinham sido considerados por normas de segurança e de radioproteção.

Num contexto geral, a norma enfoca a necessidade de serem mantidos, por um período definido, os registros de dose, treinamento e capacitação recebida, mesmo após o trabalhador ter encerrado sua atividade com radiação ionizante. Também reforça sobre a importância de dar ciência ao profissional sobre os resultados de dose e exames relativos às exposições rotineiras ou às situações de emergência. Dentre os geradores de radiação podem ser citados os tubos de raios X, os aceleradores de partículas, os irradiadores com radioisótopos. Muito utilizados na área da saúde, os mais conhecidos são a bomba de Cobalto-60, empregada em teleterapia, as fontes gama para braquiterapia e aplicadores dermatológicos e oftalmológicos com emissores de radiação beta (XAVIER *et al.*, 1998).

Em referência aos equipamentos de proteção individual, além dos clássicos como luvas, aventais, óculos e máscaras especiais, a norma prevê o uso de equipamentos de monitoração de área e de contaminação superficial, canetas dosimétricas, filmes ou TLD, desde que tenham sua calibração rastreada (MTE, 2005).

Quanto aos acidentes radiológicos são caracterizados por campo de radiação onde ocorreu uma liberação não intencional e não controlada de material radioativo, envolvendo exposição ou contaminação de seres humanos e do meio ambiente, que podem causar graves danos à saúde e mesmo mortes. A literatura e agências oficiais registram diferentes tipos de acidentes radiológicos envolvendo trabalhadores e a população. Eles têm origem em irradiações externas, de corpo inteiro ou localizado, e em contaminações externas e internas devido à inalação, injeção, ingestão e absorção pela pele ou por ferimentos. Qualquer uma dessas vias de exposição ou contaminação pode se dar com radiações alfa, beta ou gama podendo ocorrer em hospitais, em serviços de medicina nuclear ou em salas de radioterapia. A maioria dos acidentes relatados atinge mais o público que propriamente trabalhadores, numa proporção de três para um em termos de fatalidade. A exposição humana à radiação pode ocorrer de

maneira periódica ou rotineira para trabalhadores em presença ou que fazem uso de fontes radioativas em determinada instalação. Pode também ocorrer em exposições únicas para o caso de pacientes submetidos a exames radiológicos (ex. tomografia) ou exposição fracionada, para tratamento radioterápico (CNEN-3.05, 1996).

O trabalhador sujeito às radiações ionizantes deve dispor de procedimentos técnicos adequados de forma a exercer suas tarefas, garantindo sua segurança contra exposições desnecessárias ou acidentais. Assim, além de usar rotineiramente artefatos como colimadores (dispositivos que permitem controlar o feixe de radiação), aventais, labirintos (paredes interpostas para dificultar o acesso à fonte de radiação), é importante contar com um outro fator de otimização da segurança: a blindagem das fontes de radiação (CNEN-3.01, 2005).

Em se tratando de doença do organismo que sofre exposição ou contaminação pode ser definida pela relação entre o efeito biológico produzido no organismo e a capacidade de reparação do mesmo, de acordo com a sua potencialidade de defesa. Quando a quantidade ou intensidade de um efeito produzido no organismo ou o funcionamento de um órgão começa a se desequilibrar, aparecem os sintomas clínicos. Como consequência, é fato que o surgimento de um tumor cancerígeno radioinduzido pode aparecer após alguns anos decorridos da irradiação (efeito tardio). Ao passo que queimaduras na pele, originárias de manipulação de fontes em situação de acidentes, surgem após algumas horas (efeitos imediatos). Como também, podem ser citados alguns efeitos orgânicos na forma de doenças, tais como, a presença de radiodermites, catarata, leucemia e câncer. Além disso, os possíveis efeitos genéticos devem ser considerados (NOGUEIRA, 1984).

2.4.2 Institutos da CNEN que recebem rejeitos radioativos

- Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN–MG);
- Instituto de Engenharia Nuclear (IEN/CNEN–RJ);
- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN–SP).

3 MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram realizados levantamentos bibliográficos sobre a gestão dos rejeitos radioativos em SMN nas recomendações publicadas pela Comissão Internacional de Proteção Radiológica – ICRP, as regulamentações da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, as diretrizes do Ministério da Saúde e pesquisa em ‘sites’ especializados na ‘internet’.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Etapas da Gerência de Rejeitos Radioativos

Os limites de dose, recomendados pela ICRP publicação 60 (ICRP, 1991), são apresentados na Tabela 1. Estes são os limites internacionalmente aceitos. No Brasil, os limites anuais de dose individual de trabalhadores e indivíduos do público são estabelecidos pelas normas atuais, CNEN-NE-3.01 (CNEN-3.01, 2005) e portaria nº 453 (MS, 1998), que seguem a ICRP 60.

Tabela 1 Limites de Dose Recomendados pela ICRP 60

<u>Grandeza</u>	<u>Limite de dose ocupacional</u>	<u>Limite de dose do público</u>
Dose Efetiva	20 mSv/ano*	1 mSv/ano
Dose Equivalente no cristalino	150 mSv/ano	15 mSv/ano
Dose Equivalente nas Extremidades	500 mSv/ano	50 mSv/ano

* Valor médio de cinco anos, não podendo ultrapassar 50mSv em um único ano.

Fonte: International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1991

O sistema de proteção radiológica está fundamentado nos seguintes princípios básicos:
 Princípio da Justificação: nenhuma prática envolvendo exposição à radiação deve ser adotada, a menos que produza benefício suficiente aos indivíduos expostos ou à sociedade, de forma a compensar os detrimientos causados pela radiação.

Princípio da Otimização: com relação a qualquer fonte específica dentro de uma atividade, a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de ocorrência de exposições, onde não há certeza de que elas ocorram, devem ser mantidos tão baixos quanto razoavelmente exequível (Princípio ALARA), considerando os fatores econômicos e sociais.

Princípio da Limitação da Dose Individual: a exposição de indivíduos resultante da combinação de todas as atividades importantes deve estar submetida a limites de doses ou a algum controle de risco no caso de exposições potenciais.

Visando assegurar a proteção da saúde humana e do meio ambiente contra os possíveis danos associados à radiação ionizante inerentes aos rejeitos radioativos e reduzir os custos que possam advir de sua geração, faz-se necessário implementar o gerenciamento integrado desses rejeitos.

A norma CNEN-NE-6.05 estabelece critérios gerais e requisitos básicos relativos à gerência de rejeitos radioativos, sendo que as instalações radioativas estão sujeitas a processo de licenciamento pela CNEN, de acordo com a norma CNEN-NE-6.02, licenciamento de instalações radioativas (CNEN-6.05, 1985).

A gerência dos rejeitos radioativos gerados nos estabelecimentos prestadores de serviços de saúde é composta por etapas sucessivas, abrangendo desde a geração até a deposição (disposição final) dos rejeitos, conforme fluxograma apresentado na Figura 2 (XAVIER et al., 1998).

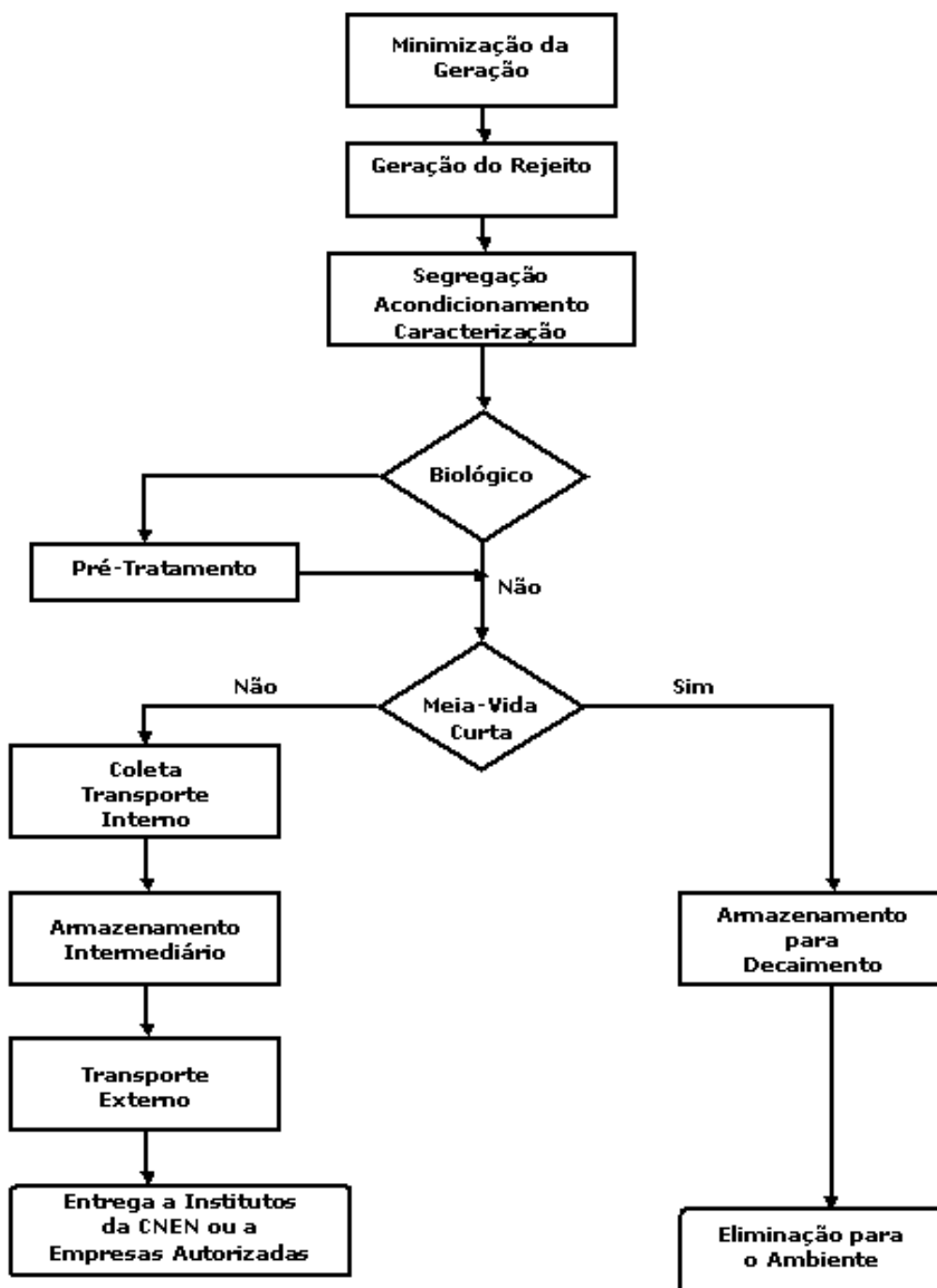


Figura 2 Fluxograma de Gerência de Rejeitos Radioativos em Serviços de Saúde

Fonte: XAVIER et al., 1998

Considerando as peculiaridades dos rejeitos. Ressalta-se que, após o ato de entrega dos mesmos à CNEN, toda a responsabilidade pelas etapas subsequentes da gerência fica transferida a esta entidade (XAVIER et al., 1998). Algumas atividades de gerência dos rejeitos podem ser delegadas a outras instalações ou empresas autorizadas pela CNEN, para execução desses serviços. Em qualquer caso, a responsabilidade final pelo rejeito cabe à direção da instalação geradora do rejeito. A responsabilidade pela deposição dos rejeitos radioativos está estabelecida em legislação vigente (CNEN-6.05, 1985).

São etapas da gerência a serem realizadas pelos estabelecimentos prestadores de serviços de saúde (MTE, 2005):

- segregação na origem;
- acondicionamento;
- pré-tratamento;
- caracterização primária e identificação;
- eliminação;
- coleta e transporte interno;
- armazenamento;
- registros e manutenção de inventário;
- transporte externo;
- entrega a um dos institutos da CNEN ou a empresas autorizadas.

Fontes seladas ou simplesmente fonte é uma fonte radioativa encerrada hermeticamente numa cápsula, ou ligada totalmente a material inativo envolvente, e forma que não possa haver dispersão da substância radioativa em condições normais e severas de uso (CNEN-6.04, 1989). Para a gerência segura de fontes seladas as seguintes atividades devem ser realizadas:

- identificação;
- coleta e transporte interno;
- armazenamento;
- registros e inventário;
- transporte externo;
- retorno ao fabricante, transferência a outro usuário, caso seja autorizada pela autoridade competente, ou entrega a um dos institutos da CNEN.

A Figura 3 apresenta uma síntese das etapas a serem seguidas para o gerenciamento seguro dos rejeitos radioativos (XAVIER et al., 1998).

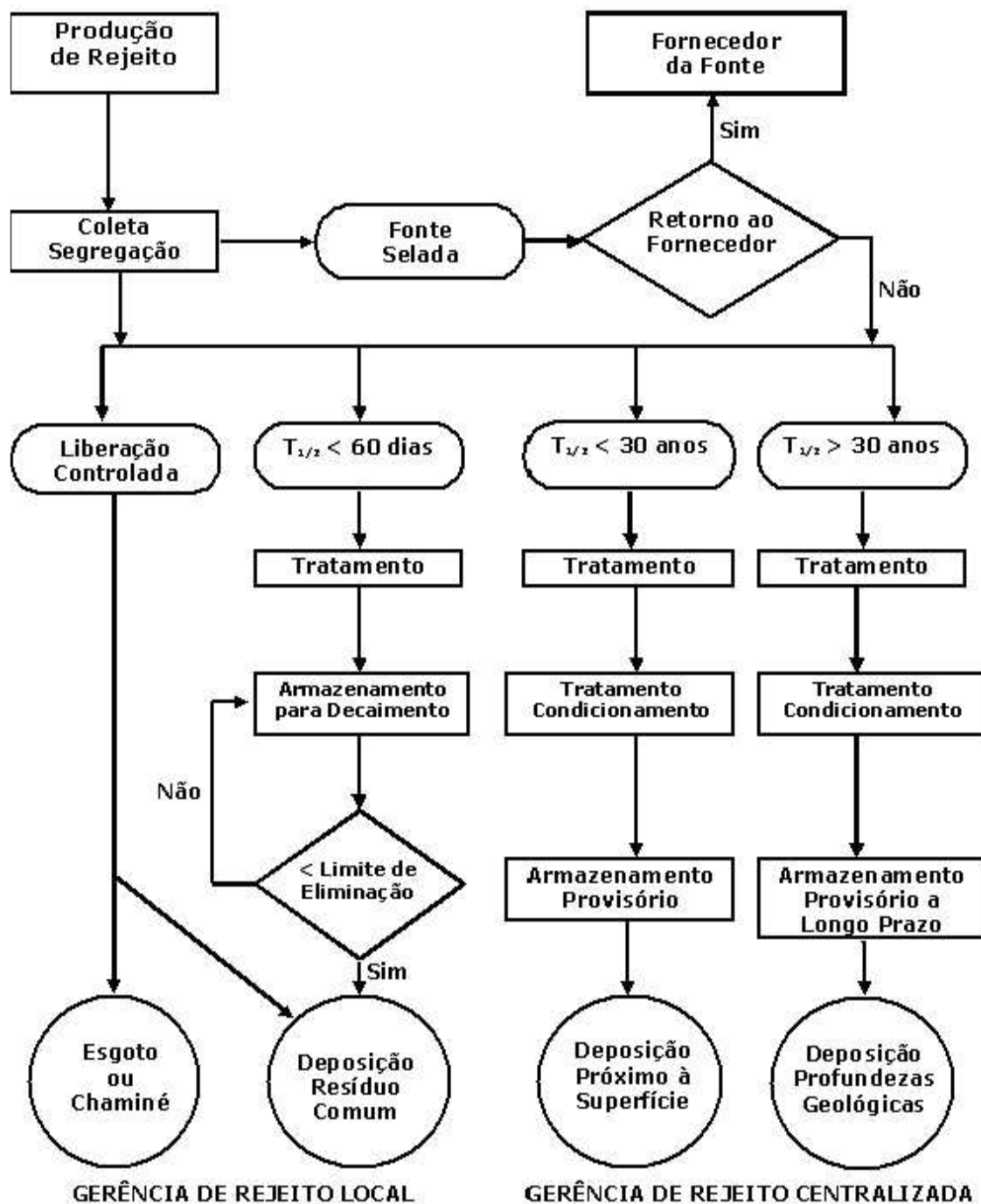


Figura 3 Estratégia para a Gerência de Rejeitos Radioativos

Fonte: XAVIER et al., 1998

A prática preferível é retornar a fonte ao fabricante ou enviá-la a outra organização para uso posterior. Os novos contratos para aquisição de fontes seladas devem conter uma cláusula de retorno das fontes aos respectivos fabricantes, caso as mesmas estejam gastas. No caso de fontes antigas fora de uso, restrições econômicas dificultam o retorno dessas fontes aos fabricantes, pois os custos de transporte são muitas vezes consideráveis e proibitivos.

Todas as operações envolvidas na gerência de rejeitos radioativos devem ser minuciosamente planejadas, resultando numa campanha educativa dos profissionais envolvidos, devendo ainda ser adotado um rígido controle de sua execução.

4.2 Segregação na Origem

A segregação consiste na separação dos rejeitos de acordo com suas características físicas, químicas, biológicas e radiológicas, de modo a facilitar a gerência (CNEN-6.05,1985).

A segregação dos rejeitos na origem tem como objetivos principais:

- impedir que os rejeitos radioativos venham a contaminar os resíduos não-radioativos;
- reduzir custos com o gerenciamento dos rejeitos radioativos, uma vez que contribui para minimizar a geração;
- evitar exposições desnecessárias do trabalhador;
- possibilitar a reciclagem dos resíduos comuns;
- facilitar a caracterização dos rejeitos, pois rejeitos de origem e composição desconhecidas necessitarão de caracterização mais detalhada, conseqüentemente mais complexa e cara;
- facilitar o manuseio, o tratamento e a deposição dos rejeitos;

Instruções para a segregação dos rejeitos

- segregar os rejeitos radioativos no momento de sua geração, conforme classificação constante no plano de radioproteção do estabelecimento, acondicionando-o adequadamente;
- segregar os rejeitos radioativos e os resíduos suspeitos de apresentarem contaminação radioativa daqueles resíduos seguramente não-radioativos;
- segregar, na extensão do possível, os rejeitos em função da meia-vida do radionuclídeo presente, coletando separadamente rejeitos de meia-vida curta (contendo elementos de meia-vida inferior a 60 dias, por exemplo) daqueles de meia-vida longa;

- para os rejeitos de meia-vida curta, coletá-los separadamente em função do radionuclídeo presente e da data de geração, anotando sempre a concentração de atividade no momento da geração;
- segregar os rejeitos em função do seu estado físico, coletando separadamente os rejeitos sólidos dos rejeitos líquidos;
- segregar os rejeitos em função da sua forma química, coletando separadamente os rejeitos líquidos aquosos das soluções orgânicas;
- não misturar químicos reativos, tais como, oxidantes fortes com compostos orgânicos;
- deve-se certificar que os rejeitos coletados em um mesmo recipiente não causem reações exotérmicas ou geração de gases;
- coletar separadamente os rejeitos putrescíveis (cobaias, sangue, etc);
- coletar separadamente os rejeitos compactáveis daqueles não-compactáveis ou os rejeitos combustíveis daqueles não-combustíveis, em função do processo de tratamento disponível;
- coletar separadamente as soluções de cintilação contendo C-14 (carbono 14) e H-3 (trício). Normalmente essas soluções não são um problema radiológico, mas os solventes orgânicos são carcinogênicos;
- observar, no ato da segregação, as outras características perigosas dos rejeitos, tais como, explosividade, inflamabilidade, piroforicidade, corrosividade e toxicidade química;
- não confinar rejeitos de pacientes de diagnóstico. No entanto, os banheiros /toiletas utilizados por esses pacientes devem ser monitorados regularmente quanto à presença de contaminação radioativa;
- monitorar, quanto à presença de contaminação, o banheiro/toilete do hospital após cada uso por paciente em terapia com radiofármacos, a menos que cada paciente tenha um toalete individual. O ideal é a utilização de banheiros separados, com liberação controlada do efluente, através de tanques de decaimento;
- confinar rejeitos de radioimunoensaios somente quando o número de testes for muito grande (mais de 1.000 por mês) ou quando o sistema de coleta de esgotos estiver em más condições. Caso a atividade usada em cada radioimuno ensaio seja baixa o suficiente, o rejeito pode ser liberado no esgoto como isento, imediatamente após a sua geração. As ampolas devem ser lavadas numa pia especial do laboratório, com controle de efluente, e liberadas como resíduo comum. Observar sempre que o iodo é volátil e deve estar permanentemente guardado em local ventilado para evitar exposição desnecessária de pessoal;

- confinar em recipientes apropriados os rejeitos radioativos resultantes de operações de limpeza/descontaminação após derramamentos ou vazamentos acidentais, sempre que a concentração de atividade estiver acima dos limites de eliminação estabelecidos.

Com relação aos aspectos radiológicos, as seguintes diretrizes deverão ser seguidas no ato de segregação:

- acondicionar separadamente os rejeitos contaminados com Tecnécio (Tc-99m), que apresenta baixa toxicidade e meia-vida curta. Após 1 mês de armazenamento, os rejeitos podem ser descartados com segurança através do sistema de coleta de lixo urbano (sólido) ou pela rede de esgoto sanitário (líquidos);
- considerar rejeito isento, os animais contaminados com H-3 e C-14 em concentrações inferiores a 0,05 mCi/g, atividade esta medida sobre a massa total do rejeito animal;
- acondicionar separadamente e enviar à CNEN os rejeitos contaminados com C-14 (apresenta toxicidade relativa e meia-vida longa) que estejam acima dos limites de eliminação estabelecidos na norma CNEN-NE-6.05;
- acondicionar separadamente e encaminhar à CNEN rejeitos contaminados com H-3 (apresenta baixa toxicidade e meia-vida longa) acima dos limites de eliminação estabelecidos na norma CNEN-NE-6.05;
- acondicionar separadamente e armazenar em local destinado ao decaimento radioativo, rejeitos contaminados com Na-24 (apresenta toxicidade relativa e meia-vida curta). Apresentam elevados riscos de dose externa. Após 2 meses de armazenamento, ao alcançarem os níveis radiológicos de eliminação, descartá-los através do sistema de coleta municipal de lixo urbano (sólidos) ou de esgotamento sanitário (líquidos);
- acondicionar separadamente e encaminhar à CNEN rejeitos contaminados com Ca-45 (apresenta alta toxicidade e meia-vida relativamente longa);
- segregar as fontes de braquiterapia desativadas e/ou danificadas, acondicioná-las hermeticamente em recipientes blindados, concomitantemente com a monitoração de eventual contaminação, e armazená-las em local apropriado para posterior encaminhamento aos institutos da CNEN;
- armazenar para decaimento e posteriormente eliminar através do sistema de coleta municipal de lixo urbano (sólidos) ou de esgotamento sanitário (líquido) rejeitos contaminados com I-131, I-125, Cr-51 e P-32;

- após o uso, identificar com a data e atividade remanescente os geradores de Tecnécio e enviar para o IPEN/CNEN-SP, de acordo com procedimentos específicos (o nuclídeo pai do gerador de Tecnécio é o Mo-99, que tem meia-vida de 67 horas).

4.3 Acondicionamento

O acondicionamento consiste na preparação do rejeito radioativo para o manuseio, transporte, armazenamento e deposição seguros por meio de sua colocação em embalagens adequadas (CNEN-6.05,1985).

O acondicionamento tem como objetivos principais:

- controlar os riscos para a saúde, minimizando a possibilidade de contaminação radioativa e de exposição dos trabalhadores, durante o manuseio dos rejeitos;
- possibilitar a segregação por tipo de rejeito, para atender ao processo de tratamento ou de deposição exigidos;
- facilitar o manuseio, transporte, armazenamento e deposição seguros;
- possibilitar a identificação dos rejeitos;

Instruções para o acondicionamento de rejeitos radioativos:

- acondicionar os rejeitos, previamente segregados na origem, nas embalagens originais ou em sacos plásticos, recipientes ou embalagens com características apropriadas a cada tipo de rejeito, conforme estabelecido no plano de radioproteção – PR, aprovado para o estabelecimento;
- acondicionar os rejeitos radioativos em embalagens devidamente sinalizadas com o símbolo internacional de presença de radiação ionizante, rotuladas como “REJEITO RADIOATIVO” e com indicação da categoria do rejeito para as quais foram preparadas;
- manter em cada unidade geradora o número suficiente de embalagens/recipientes para cada tipo de rejeito, devendo existir recipientes específicos para o resíduo comum;
- acondicionar os rejeitos sólidos compactáveis e combustíveis em sacos plásticos reforçados, com espessura entre 0,08 e 0,20 mm, conforme a capacidade, inseridos em lixeira de acrílico, preferencialmente provida de tampa com pedal, ou recipientes revestidos com chumbo, dependendo da atividade e do radionuclídeo manipulado;
- acondicionar agulhas e objetos cortantes em recipientes rígidos, reforçados e estanques. Não misturar as seringas contaminadas com material radioativo e aquelas contaminadas com material não-radioativo;

- acondicionar os rejeitos não-compactáveis e não-combustíveis, tais como, vidraria quebrada e peças metálicas, por exemplo, em recipientes mais resistentes, como os metálicos. Esses recipientes devem ser revestidos internamente com sacos plásticos reforçados para evitar sua contaminação;
- embrulhar em papel absorvente, um a um, os rejeitos biológicos, tais como, carcaças de animais e peças anatômicas, acondicioná-los em sacos plásticos, dentro de caixas de papelão e conservá-los em freezer. Os rejeitos devem estar firmemente enrolados em plástico e presos com fita forte e resistente à umidade;
- envolver em plástico e colocar em caixão adequadamente lacrado os cadáveres de pacientes de iodoterapia. Caso a taxa de dose a 1 metro do caixão seja superior a 50 mSv/h, não deve haver velório e nem cremação. Na Tabela 2 são apresentadas as atividades máximas de radionuclídeos no corpo, abaixo das quais precauções especiais não são necessárias para autópsia, cremação, embalsamamento ou enterro (MENDES et al., 1991).

Tabela 2 Atividades Máximas de Radionuclídeos para Disposição de Cadáveres, sem Precauções Especiais, em MBq

<u>Radionuclídeo</u>	<u>Autópsia/Embalsamento</u>	<u>Enterro</u>	<u>Cremação</u>
I-131	10 ¹	400 ³	400 ³
Au-198(grãos)	10 ²	400 ³	100 ⁽⁵⁾
I-125(sementes)	40 ²	4000 ³	4000 ³
Y-90 (coloidal)	200 ¹	2000 ⁽⁴⁾	70 ⁽⁵⁾
Au-198 (coloidal)	400 ³	400 ³	100 ⁽⁵⁾
P-32	100 ¹	2000 ⁽⁴⁾	30 ⁽⁵⁾
Sr-89	50 ¹	2000 ⁽⁴⁾	20 ⁽⁵⁾

Critério: (1) Perigo de Contaminação; (2) Limite de Dose nas Extremidades; (3) Taxa de Dose Externa no Corpo Inteiro; (4) Dose de Bremsstrahlung a 0,5 m; (5) Perigo de Contaminação pela Cinza.

Fonte: International Commission on Radiological Protection (ICRP) nº 57, 1989

- solicitar aconselhamento a respeito das precauções de segurança radiológica que necessitam ser tomadas, quando realizando autópsia em pacientes que tenham morrido logo após terem sido submetidos a tratamento com quantidades terapêuticas de um radionuclídeo;

- acondicionar as vestimentas pessoais contaminadas de pacientes de iodoterapia e armazená-las para decaimento, até atingir níveis aceitáveis;
- acondicionar os rejeito líquidos em recipientes plásticos ou de vidro, de acordo com as características químicas dos rejeitos; entretanto, sempre que possível, utilizar recipientes plásticos. Esses recipientes podem ter capacidade de até 2 litros, dependendo do volume gerado, e devem ser colocados sobre bandejas de material inquebrável, profundas o suficiente para conter o volume total de rejeito, caso haja um vazamento;
- usar blindagens adicionais, definidas nos procedimentos de operação descritos no PR/PGRR aprovado para o estabelecimento, em função das características radiológicas do rejeito (atividade, tipo e energia da radiação emitida);
- manter todos os recipientes de coleta de rejeito fechados quando fora de uso;
- preencher as embalagens somente até o limite máximo de 2/3 (dois terços) de sua capacidade;
- manter os níveis de contaminação superficial dos recipientes, abaixo dos níveis estabelecidos na Tabela 3. Os níveis de contaminação são obtidos pela média de medidas realizadas em uma área de 300 cm², em todas as faces da superfície externa do recipiente.

Tabela 3 Níveis Máximos de Contaminação Radioativa Permitidos em Recipientes

Tipo de Radiação	Nível Máximo Permissível	
	Bq/cm ²	mCi/cm ²
Emissores b/g e emissores a de baixa toxicidade	4	10-4
Todos os outros emissores a	0,4	10-5

Fonte: CNEN-NE-6.05, 2011

Nota: Os emissores alfa de baixa toxicidade, para fins de contaminação superficial de recipientes são: urânio natural; urânio empobrecido; tório natural; U-235 ou U-238; Th-232; Th-228 e Th-230, quando contidos em minérios e concentrados químicos e físicos; radionuclídeos com meia-vida inferior a 10 dias.

4.4 Pré-Tratamento de Rejeitos Radioativos

Os rejeitos radioativos biológicos devem ser previamente tratados antes de seguirem para o armazenamento intermediário ou para decaimento radioativo.

O pré-tratamento tem como objetivos principais:

- prevenir a putrefação dos rejeitos biológicos;
- proteger a saúde dos trabalhadores;
- no pré-tratamento dos rejeitos radioativos, deve-se tomar cuidado com a adição de produtos químicos que possam formar compostos voláteis.

Instruções para o pré-tratamento de rejeitos radioativos:

Tratar previamente os rejeitos biológicos, no mesmo dia da geração, de modo a prevenir a putrefação. Os seguintes métodos podem ser usados:

- congelamento: envolver o rejeito em plástico, identificar o mantê-lo congelado em freezer para decaimento da radiação;
- método químico: cobrir totalmente o rejeito com soluções químicas que retardam a putrefação, tais como, formol e hipoclorito de sódio. Se for usado o formol concentrado, o rejeito ficará mumificado em 1 ano e poderá ser tratado como rejeito sólido ou liberado como resíduo comum, após o período de decaimento;
- incineração: consultar previamente a CNEN antes da incineração de qualquer material radioativo.
- desativar os agentes infectantes conforme as recomendações do protocolo do experimento. Se o protocolo não indicar como efetuar a desativação, desinfetar os rejeitos infectados com produtos químicos como o permanganato de potássio ou hipoclorito de sódio. Os rejeitos devem ser mantidos submersos na solução por, pelo menos, 12 horas. A atividade remanescente na solução deverá ser determinada, antes do descarte. Estando as soluções dentro dos limites radiológicos de eliminação, verificar os aspectos químicos para o descarte seguro;
- abolir o uso de agente desinfetante que aumente a toxicidade do rejeito, no caso de desinfecção de rejeitos mistos radioativos, contendo agente infectante e material altamente tóxico;
- não autoclavar material radioativo. Isto poderá contaminar a autoclave.

4.5 Caracterização Primária e Identificação

A caracterização primária consiste na determinação qualitativa e quantitativa das propriedades físicas, químicas, biológicas e radiológicas dos rejeitos gerados e a sua quantificação (volume e peso) (CNEN-3.05,1996).

A caracterização primária tem como objetivos principais:

- identificar os rejeitos em cada setor do estabelecimento;
- levantar as quantidades geradas de rejeito;
- adotar a quantidade gerada de rejeito como parâmetro para o dimensionamento das embalagens de acondicionamento e do local para o armazenamento;
- definir o destino dos rejeitos.
- definir os requisitos de segurança para as etapas subsequentes da gerência.
- definir os processos e metodologias a serem adotados no tratamento dos rejeitos.

Os parâmetros mais importantes para a caracterização primária são:

- descrição do rejeito e lugar de origem (identificação da instalação e operação geradora, forma física do rejeito, volume e massa de rejeito gerado, data, responsável).
- características radiológicas (radionuclídeos, meia-vida, atividade, taxa de exposição, tempo necessário para o decaimento).
- características físicas e químicas (sólidos compactáveis/não-compactáveis, solução líquida orgânica/aquosa, composição química e concentração das soluções, objetos perfurocortantes, combustibilidade, reatividade, inflamabilidade).
- características biológicas (putrescibilidade, patogenicidade).

Instruções para a caracterização primária e identificação dos rejeitos:

- efetuar a caracterização primária de todos os recipientes contendo rejeitos radioativos;
- identificar, para cada recipiente/embalagem, todos os constituintes do rejeito, inclusive os radionuclídeos presentes;
- determinar, por estimativa ou através de análises, as concentrações de atividade (Bq/l) dos radionuclídeos presentes nos rejeitos líquidos;
- determinar a atividade específica (Bq/g) dos rejeitos sólidos. Na impossibilidade de sua determinação analítica, efetuar o balanço da atividade durante o manuseio de substâncias radioativas;
- estimar a atividade específica (Bq/g) dos rejeitos biológicos tipo cobaias, dividindo a atividade administrada pelo peso inicial do animal disposto;
- monitorar os resíduos sólidos compactáveis, quanto ao nível de radiação gama na superfície de suas embalagens. As embalagens com taxa de exposição três vezes acima do *background* serão consideradas como rejeito radioativo. As embalagens com taxa de exposição abaixo de três vezes o *background* deverão ser avaliadas, através da monitoração da radiação alfa e beta com monitor de contaminação superficial;

- determinar ou estimar os períodos de armazenamento visando o decaimento dos radionuclídeos presentes nos rejeitos, até que sejam alcançados os limites de eliminação prescritos em norma vigente.
- identificar devidamente os rejeitos por meio de etiqueta. A etiqueta deve conter o símbolo internacional de presença de radiação e outras informações relevantes.
- preencher o formulário controle de rejeitos radioativos, próprio e individual para cada recipiente/embalagem de rejeito, com todas as informações disponíveis sobre o rejeito, logo após a caracterização do mesmo e antes da sua transferência para o local de armazenamento.

4.6 Eliminação de Rejeitos Radioativos por Via Convencional

A eliminação consiste na liberação planejada e controlada de rejeito radioativo para o ambiente (atmosfera, esgotos sanitários e sistema de coleta de lixo urbano) e baseia-se, principalmente, na toxicidade e meia-vida dos radionuclídeos e na concentração de atividade dos rejeitos. Tal liberação deve atender às restrições impostas pelos órgãos regulamentadores, radiológico e ambiental (CNEN-3.01, 2005).

Na norma CNEN-NE-6.05 Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas, estão estabelecidos os critérios gerais e os requisitos básicos para a eliminação de rejeitos líquidos, sólidos e/ou gasosos por uma instalação radiativa. Os limites de eliminação estabelecidos na citada norma e expressos em termos de concentração de atividade e/ou atividade total, são valores abaixo dos quais uma determinada corrente de rejeito pode ser liberada pelas vias convencionais, sob os aspectos de segurança radiológica. Os estabelecimentos poderão requerer, junto à CNEN, autorização para eliminação de rejeito abaixo dos limites da norma (limites autorizados).

A eliminação de rejeitos tem como objetivos principais:

- gerenciar, de forma convencional, volumes apreciáveis de rejeito com um conteúdo de atividade muito baixo. A viabilidade e conveniência de gerenciar esses materiais de forma convencional são reconhecidas e aceitas pelos organismos internacionais.
- controlar a eliminação dos rejeitos radioativos que estejam em conformidade com a legislação vigente e inserida no plano de radioproteção da instalação, aprovado pela CNEN.

Instruções para eliminação de rejeitos radioativos:

- efetuar a eliminação de rejeitos radioativos, com segregação prévia na origem, pelas vias convencionais somente após a caracterização primária dos mesmos;

- manter as eliminações de material radioativo abaixo dos limites permissíveis e em quantidades mínimas possíveis;
- monitorar e supervisionar as eliminações de radioisótopos com detalhamento e exatidão suficientes, para demonstrar conformidade com os limites de eliminação estabelecidos na norma CNEN-NE-6.05 ou limites autorizados, e para permitir estimar a exposição dos grupos críticos;
- emitir relatório para o órgão regulatório, sobre as eliminações efetuadas em intervalos estipulados no Plano de Radioproteção da instalação, aprovado pela CNEN;
- comunicar imediatamente por escrito à autoridade competente qualquer eliminação excedendo os limites autorizados;
- descartar no sistema de coleta de lixo urbano ou hospitalar os rejeitos sólidos com atividade específica inferior ou igual a 75Bq/g (2nCi/g). Caso a atividade específica seja superior a este limite, os rejeitos devem ser armazenados na instalação por um período que permita o decaimento de sua atividade até valores inferiores a este limite de eliminação;
- descartar na rede de esgotos sanitários os rejeitos líquidos radioativos, que contenham radioisótopos em quantidades inferiores aos limites de eliminação especificados na norma CNEN-NE-6.05;
- considerar as atividades iniciais remanescentes e as meias-vidas físicas dos radionuclídeos presentes nos rejeitos para estabelecer o tempo necessário de armazenamento para decaimento;
- antes da liberação do material como resíduo comum, remover rótulos, etiquetas e símbolos que indiquem a presença de radiação nos mesmos;
- eliminar excretas de pacientes submetidos a terapia radioisotópica de acordo com instruções específicas estabelecidas pela CNEN. As excretas poderão ser lançadas na rede de esgoto sanitário, desde que obedecidos os princípios básicos de radioproteção estabelecidos na norma CNEN-NE-3.01 Diretrizes Básicas de Radioproteção. As instalações que não estejam conectadas à rede de esgoto sanitário deverão submeter à avaliação da CNEN o sistema de eliminação de excretas a ser empregado;
- prover banheiros privativos destinados ao uso de pacientes internados com doses terapêuticas, com pisos e paredes de fácil descontaminação e com encanamentos para efluentes, com saída diretamente ligada a ramal de grande porte da rede de esgotos sanitários da cidade. Hospitais de grande porte poderão possuir tanques de retenção para

armazenamento de excretas aguardando decaimento, desde que devidamente gerenciado, com registros em livro próprio;

- não eliminar na rede de esgotos os rejeitos líquidos orgânicos, soluções cintiladoras contendo solventes orgânicos, tais como, tolueno, xileno, benzeno e outros produtos orgânicos, mesmo apresentando concentrações de atividade inferiores aos limites de eliminação. Neste caso, o estabelecimento deverá providenciar o tratamento do rejeito devido às suas características químicas perigosas, por exemplo, através de uma firma que disponha de incinerador;
- contatar previamente um dos institutos da CNEN, sempre que o rejeito radioativo a ser gerado não puder ser liberado para o ambiente em um prazo razoável. Este procedimento visa assegurar que os critérios de aceitação de rejeitos estabelecidos por esta instituição estejam sendo atingidos.

4.7 Coleta e Transporte Interno

Consiste no recolhimento dos rejeitos nos pontos e a sua transferência até o local de armazenamento.

- o recolhimento tem como objetivos principais (CNEN, 1998):
- evitar acúmulo de material radioativo nos locais de trabalho.
- prevenir acidentes/incidentes.
- minimizar a exposição de trabalhadores.

Instruções para a coleta e transporte interno dos rejeitos radioativos:

- planejar o recolhimento dos rejeitos radioativos com o menor percurso, evitando coincidência de horário com fluxo de pessoas do público e de outros materiais, tais como, distribuição de roupa limpa, de alimentos e de medicamentos;
- o recolhimento dos rejeitos radioativos deve ser efetuado por trabalhadores capacitados e devidamente habilitados;
- efetuar o recolhimento dos rejeitos radioativos da fonte geradora até o local de armazenamento, em intervalos regulares, sendo terminantemente vedado que recipientes e sacos plásticos contendo rejeito sejam deixados nos corredores, transportados abertos ou arrastados pelo piso;
- não utilizar, em nenhuma hipótese, tubos de queda (shootes) para as transferências internas;

- efetuar o recolhimento dos rejeitos radioativos de modo exclusivo, até o local de armazenamento;
- efetuar o recolhimento dos rejeitos com a devida frequência, de acordo com as necessidades da unidade geradora, evitando o acúmulo de rejeito radioativo nas áreas de trabalho;
- verificar se o recipiente contendo rejeito está devidamente sinalizado, identificado e bem fechado, antes do recolhimento, de modo a evitar vazamento dos mesmos;
- efetuar o recolhimento apenas dos rejeitos com o formulário “Controle de Rejeito Radioativo” devidamente preenchido e assinado;
- efetuar o recolhimento em embalagens blindadas, sempre que necessário, de modo a minimizar a exposição dos trabalhadores;
- efetuar o recolhimento com segurança, de forma a não permitir o rompimento dos recipientes;
- monitorar o meio de transporte utilizado para recolhimento do rejeito imediatamente após a coleta e, caso seja necessário, efetuar a sua descontaminação.

4.8 Armazenamento

O armazenamento consiste na colocação do rejeito radioativo, devidamente acondicionado e identificado, em área específica do estabelecimento. O armazenamento pode ser realizado visando o decaimento ou aguardar a sua remoção para os institutos da CNEN ou empresa autorizada (CNEN-6.05, 1985).

O armazenamento tem como objetivos principais:

- manter sob controle os rejeitos radioativos de meia-vida curta até que os radionuclídeos presentes decaiam a níveis que permitam a liberação como resíduos de serviços de saúde não-radioativos ou uma liberação controlada para o meio ambiente.
- permitir a eliminação dos rejeitos radioativos contendo elementos radioativos de meia-vida curta, pelas vias convencionais, após o seu decaimento.
- proteger operadores e o público em geral de qualquer risco biológico associado aos rejeitos radioativos.
- manter a integridade dos recipientes contendo rejeito até a sua remoção para os institutos da CNEN ou a sua eliminação.
- o armazenamento para decaimento de rejeitos de baixo nível de radiação, contendo elementos de meia-vida curta, provenientes de hospitais e de laboratórios de serviços de saúde

requer uma política de segregação na origem, acompanhamento das características das correntes de rejeito e cuidadosas monitorações de controle.

- a aceitação pelas autoridades competentes desses rejeitos como resíduo não radioativo, após o decaimento, depende da capacidade da instalação de detectar quantidades com significação estatística de radioatividade residual comparadas às radiações de fundo (*background*) e, particularmente, emissores beta puros ou emissores beta de baixa energia.
- o sistema de caracterização, monitoração e de gerência de dados permite direcionar as embalagens de rejeito para os locais de armazenamento de decaimento por um período mínimo de 10 meias-vidas. Em seguida, realizar monitorações de eliminação para permitir tratamento como resíduo químico perigoso biológico/infecante ou comum.

Instruções para o armazenamento:

- armazenar separadamente os rejeitos radioativos dos outros materiais radioativos em uso;
- armazenar os rejeitos radioativos longe de materiais não-radioativos, especialmente materiais explosivos, inflamáveis ou tóxicos;
- situar o depósito para armazenamento para decaimento longe das áreas de trabalho, ou das outras áreas regularmente ocupadas pelas equipes de trabalho ou pacientes, mas em local de acesso fácil para a transferência dos rejeitos;
- dimensionar o depósito para armazenamento de modo a permitir a verificação/inspeção periódica da integridade dos recipientes, a monitorização e a visualização das etiquetas, identificando facilmente a época da isenção/eliminação dos rejeitos armazenados;
- providenciar, caso necessário, blindagem para assegurar que a taxa de exposição em qualquer ponto acessível fora do depósito não exceda os limites de dose para indivíduos do público estabelecidos na norma CNEN-NE-3.01;
- sinalizar o depósito para armazenamento com o símbolo internacional da presença de radiação e com a classificação de área, de acordo com a norma CNEN-NE-3.01;
- verificar, antes do recebimento, se o rejeito está devidamente acondicionado, para garantir a sua integridade durante o transporte interno e o período de armazenamento, e devidamente identificado quanto ao radionuclídeo, atividade, taxa de exposição, data da monitoração e, caso seja armazenado para decaimento, a data em que ocorrerá a isenção ou eliminação controlada;

- armazenar os rejeitos não tratados, quando fonte aberta, de tal forma que limite os riscos de dispersão;
- manusear os recipientes contendo rejeito com segurança;
- identificar claramente os recipientes contendo rejeitos armazenados e manter registros;
- verificar rotineiramente a integridade dos recipientes contendo rejeito;
- manter o material putrescível em refrigeração durante o período de armazenamento;
- providenciar sistema de proteção contra fogo onde o rejeito combustível estiver presente;
- providenciar sistema de dissipação de gases se a sua geração for prevista;
- prevenir acesso de pessoas não autorizadas;
- manter dispositivo para recuperação do rejeito no evento de um acidente;
- agrupar e organizar os rejeitos no local de armazenamento, de modo a minimizar a dose de radiação dos trabalhadores envolvidos na gerência dos rejeitos;
- manter no local de armazenamento o nome, endereço e telefone do responsável pela radioproteção.
- o local da instalação destinado ao armazenamento dos rejeitos deve, conforme aplicável:
 - conter com segurança os rejeitos, do ponto de vista físico e radiológico, até que possam decair a níveis abaixo dos limites de eliminação;
 - possuir sistema que permita o controle da liberação de material radioativo para o meio ambiente. possuir sistemas de tanques e drenos de piso para coleta de líquidos provenientes de vazamentos, descontaminações, entre outros;
 - dispor de monitoração de área;
 - situar-se distante das áreas normais de trabalho, em área de acesso controlado, sendo cercado e sinalizado com o símbolo internacional de presença de radiação ionizante e de área restrita, com acesso restrito a pessoal autorizado;
 - dispor de compartimentos que possibilitem a segregação dos rejeitos em grupos de radionuclídeos com meias-vidas físicas próximas e por estado físico;
 - ter pisos e paredes lisas com cantos arredondados, impermeáveis para facilitar a descontaminação e com iluminação artificial;
 - possuir blindagem para o exterior de modo que as áreas externas sejam classificadas como livres;

- possuir sistemas de ventilação, exaustão e filtragem, no caso de serem estocadas quantidades significativas de h-3, c-14, i-125, ou ra-226 e outros materiais que possam produzir gases, para que o ar seja renovado e não haja concentração de gases radioativos;
- apresentar delimitação clara das áreas restritas e, se necessário, locais reservados à monitoração e descontaminação individuais;
- dispor de meios para evitar a decomposição de matéria orgânica;
- prover segurança contra ação de eventos induzidos por fenômenos naturais;
- possuir barreiras físicas que visem minimizar a dispersão e migração de material radioativo para o meio ambiente, incluindo meios que evitem a dispersão do material por animais;
- dispor de procedimentos apropriados sempre afixados em paredes, quadros ou outros lugares visíveis, para facilitar o manuseio dos materiais e minimizar a exposição de trabalhadores;
- dispor de planos preliminares de proteção física e radioproteção, bem como procedimentos para situações de emergência;
- dispor de inventário atualizado dos rejeitos armazenados.
- dependendo da quantidade de rejeito a ser armazenado, pode-se usar um cofre lindado no próprio laboratório ou até mesmo uma sala preparada e exclusiva ao armazenamento dos rejeitos.

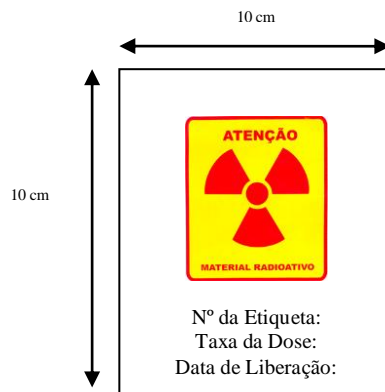


Figura 4 Modelo da Etiqueta para Identificação de Rejeito Radioativo

FONTE: TESES USP, 2011

4.9 Registro e Manutenção de Inventário Atualizado

É essencial que, em todas as etapas da gerência, documentação plena seja produzida e retida, contendo informações sobre as características e origem dos rejeitos, liberações

realizadas, entre outras, e que sejam aplicadas as medidas de segurança cabíveis. O sistema de rejeitos deve assegurar o rastreamento dos rejeitos radioativos transferidos ou eliminados localmente e deve garantir a manutenção do inventário de rejeitos atualizado (SZTANYIK, 1993).

Em qualquer instalação devem ser mantidos registros atualizados de todos os rejeitos, descrevendo:

- identificação do material e localização do recipiente que o contém;
 - procedência e destino;
 - transferências internas e externas;
 - eliminações realizadas, particularizando as atividades diárias liberadas;
 - outras informações pertinentes à segurança.
- informações sobre a aquisição/utilização de radionuclídeos e geração de rejeitos radioativos devem ser registradas em formulário próprio. os rejeitos armazenados e a sua destinação, incluindo eliminações, também devem ser registrados em formulário apropriado.
- qualquer modificação ou correção feita nos dados constantes dos registros deve ser claramente justificada e documentada.
 - os registros, bem como os documentos relativos a correções, devem ser mantidos na instalação.
 - periodicamente, de acordo com as determinações contidas na autorização para operação, deve ser enviado à CNEN o controle de variações de inventário de todo o material radioativo, inclusive dos rejeitos radioativos (CNEN-3.05, 1996).

4.10 Transporte Externo

O transporte externo é o transporte de material radioativo realizado em áreas externas à instalação licenciada (CNEN, 1998).

O transporte externo de rejeitos radioativos, do estabelecimento prestador de serviços de saúde até um dos institutos da CNEN ou empresas autorizadas, deve ser realizado em conformidade com a regulamentação de transporte vigente.

O objetivo fundamental da regulamentação de transporte é estabelecer os requisitos de segurança e de radioproteção, que garantam um nível adequado de controle da eventual exposição de pessoas, bens e meio ambiente à radiação ionizante (CNEN-5.01, 1988).

No Brasil, dois órgãos lidam com a área de transporte de materiais radioativos, sendo eles a CNEN, com função apenas normativa, e o Ministério dos Transportes.

Além da própria CNEN, algumas poucas entidades têm permissão para realizar transportes, em geral, de materiais radioativos não físséis. Para tanto, planos específicos de transporte de materiais radioativos são submetidos à CNEN, para aprovação. A qualificação dos supervisores de radioproteção dessas empresas é comprovada pela CNEN, através de exame específico.

As seguintes premissas foram usadas no estabelecimento da norma de transporte:

- os embalados contendo material radioativo devem ser tratados com os mesmos cuidados adotados para outros produtos perigosos.
- a segurança depende basicamente do projeto do embalado e não dos procedimentos operacionais.
- o expedidor é responsável pela segurança do transporte.
- a norma CNEN-NE-5.01 especifica os requisitos para o acondicionamento e rotulagem, define categorias de transporte de materiais radioativos de acordo com seus conteúdos de radioatividade, determina os limites de doses aceitáveis e proíbe o transporte de materiais radioativos por via postal no país.
- os geradores de rejeitos devem preparar os embalados contendo os mesmos, de acordo com as especificações exigidas pelo transportador e com os critérios de aceitação estabelecidos pela instalação centralizada que receberá o material.
- os rejeitos radioativos, que apresentam radionuclídeos de meia-vida longa (superior a 60 dias, por exemplo) e que estão acima dos limites de eliminação, devem ser acondicionados em embalagens qualificadas, que se mantêm íntegras durante o transporte e armazenamento, e encaminhados aos institutos da CNEN em referência ao transporte, devem-se observar as especificações da norma CNEN-NE-5.01 e as diretrizes do Ministério dos Transportes.
- os critérios para a escolha da embalagem para o transporte externo tais como os requisitos de projeto, os limites de atividade do material a ser acondicionado e a sua forma física e química, entre outros parâmetros, estão definidos na norma CNEN-NE-5.01, que se baseia nas recomendações de transporte da agência internacional de energia atômica (CNEN, 1988).

4.11 Procedimentos de Entrega de Rejeitos Radioativos à CNEN

Os estabelecimentos prestadores de serviços de saúde deverão entrar em contato com a CNEN, através de seus institutos, sempre que houver possibilidade de geração de rejeitos radioativos passíveis de serem transferidos para essa entidade. No caso de geração de rejeitos

na forma de fontes abertas, o contato deverá ser anterior à geração do mesmo, o que garantirá o cumprimento de critérios de aceitação no que se refere, principalmente, aos requisitos de segregação, acondicionamento, caracterização, entre outros.

Os institutos da CNEN que estão autorizados a receber rejeitos radioativos provenientes de estabelecimentos prestadores de serviços de saúde e de atividades de pesquisa possuem infra-estrutura adequada para o tratamento de rejeitos radioativos.

4.12 Como Minimizar os Efeitos da Radiação Ionizante

A minimização dos efeitos da radiação nos trabalhadores inicia pela avaliação de risco, o correto planejamento das atividades a serem desenvolvida, utilização de instalações e de práticas corretas, de tal forma a diminuir a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de exposições acidentais.

Os equipamentos de proteção (EPC e EPI) devem ser utilizados por todos os trabalhadores, além de ser observado a otimização desta proteção pelo elaboração e execução correta de projeto de instalações laboratoriais, na escolha adequada dos equipamentos e na execução correta dos procedimentos de trabalho.

Por outro lado o controle das doses nos trabalhadores deve considerar três fatores:

1. Tempo: A dose recebida é proporcional ao tempo de exposição e à velocidade da dose

$$D = t \times \text{velocidade da dose}$$

2. Distância: A intensidade da radiação decresce com o quadrado da distância

$$D1/D2 = (d1/d2)^2$$

3. Blindagem: A espessura da blindagem depende do tipo de radiação, da atividade da fonte e da velocidade de dose aceitável após a blindagem. Para a proteção do trabalhador os comandos do equipamentos devem ter blindagem, assegurando que o técnico possa ver e manter o contacto com o paciente no decorrer do exame. As próprias salas devem ter blindagem, por forma a assegurar e garantir a segurança radiológica tanto do técnico como do pessoal circunvizinho à sala. Estas proteções devem ter espessura suficiente para garantir a proteção contra a radiação primária e a radiação difundida que pode atingir as paredes da sala.

No cálculo das blindagens leva-se em conta:

- a energia da radiação produzida;
- a quantidade de radiação produzida por determinado período (carga de trabalho);
- grau de ocupação ou frequência do ponto de interesse;
- material a ser usado como blindagem.
- Para a blindagem de raios X e Gama usa-se geralmente o chumbo. Contudo outros materiais podem ser utilizados embora a espessura necessária para se obter a mesma atenuação que com o chumbo seja muito maior.

A garantia de que as condições de trabalho são adequadas do ponto de vista da proteção pode ser obtida através do levantamento radiométrico da instalação. Esta medida tem por objetivo verificar se durante a operação, a instalação apresenta níveis de segurança adequados aos trabalhadores.

4.13 Controle à Exposição

- Monitorização

Este processo tem como objetivo garantir a menor exposição possível aos trabalhadores e garantir que os limites de dose não são superados.

- Tipos de Monitorização:

* Pessoal - procura estimar a dose recebida pelo trabalhador durante as suas atividades envolvendo radiação ionizante. As doses equivalentes são determinadas pela utilização de um ou vários dosímetros que devem ser usados na posição que forneça uma medida representativa da exposição nas partes do corpo expostos à radiação. No caso do trabalhador usar diferentes tipos de radiação então diferentes tipos de dosímetros devem ser utilizados:

* Monitorização da radiação externa;

* Monitorização da contaminação interna

* De área - Tem por objetivo a avaliação das condições de trabalho e verificar se há presença radioativa. Os resultados das medidas efetuadas com os monitores da área devem ser

comparados com os limites primários ou derivados, a fim de se tomar ações para garantir a proteção necessária.

- Tipos de Dosímetros

Diversos métodos ou sistemas foram desenvolvidos a fim de possibilitar a determinação da dose de radiação. O objetivo é o de quantificar a energia absorvida, a fim de proporcionar um conhecimento mais profundo dos efeitos da radiação ionizante sobre a matéria.

Os requisitos são:

- a resposta do dosímetro deve ser linear com a dose absorvida;
- o aparelho deve ser de alta sensibilidade, por forma a medir doses baixas;
- deve apresentar amplo intervalo de resposta;
- a resposta deve ser independente da velocidade da dose;
- deve possuir estabilidade da resposta ao longo do tempo;

De uma forma geral podemos classificar os dosímetros em: de leitura direta e de leitura indireta, os primeiros fornecem ao utilizador a dose ou velocidade da dose em qual quer instante, os segundos necessitam de um procedimento para a sua leitura.

Para finalizar devemos lembrar de alguns requisitos que compõem os procedimentos de segurança:

- delimitação de zonas e áreas (controladas e de vigilância);
- selagem;
- limitar o acesso;
- utilizar equipamentos de proteção individual;
- proibir a comida e a bebida, o fumar, mascar chicletes, manusear lentes de contato, a aplicação de cosméticos e ou produtos de higiene pessoal ou armazenar alimentos para consumo nos locais de uso de radiação e áreas adjacentes.
- lavar as mãos:

- antes e após a manuseio de materiais radioativos, após a remoção das luvas e antes de saírem do laboratório.

- antes e após o uso de luvas.
- antes e depois do contato físico com pacientes.
- antes de comer, beber, manusear alimentos e fumar.
- depois de usar o toalete, coçar o nariz, cobrir a boca para espirrar, pentear os cabelos.
- mãos e antebraços devem ser lavados cuidadosamente (o uso de escovas deverá ser feito com atenção).
- manter líquidos anti-sépticos para uso, caso não exista lavatório no local.
- evitar o uso de calçados que deixem os artelhos à vista.
- não usar anéis, pulseiras, relógios e cordões longos, durante as atividades laboratoriais.
- não colocar objetos na boca.
- não utilizar a pia do laboratório como lavatório.
- usar roupa de proteção durante o trabalho. Essas peças de vestuário não devem ser usadas em outros espaços que não sejam do laboratório (escritório, biblioteca, salas de estar e refeitório).
- afixar o símbolo internacional de "Radioatividade" na entrada do laboratório. Neste alerta deve constar o nome e número do telefone do pesquisador responsável.
- presença de kits de primeiros socorros, na área de apoio ao laboratório.
- o responsável pelo laboratório precisa assegurar a capacitação da equipe em relação às medidas de segurança e emergência
- providenciar o exame médico periódicos;
- adoção de cuidados após a exposição à radiação.

Em serviços de saúde, as fontes radioativas dos equipamentos de radioterapia, após o fim de sua vida útil, devem ser substituídas e armazenadas em depósitos apropriados. Luvas,

seringas, frascos, rejeitos biológicos compostos de matéria orgânica misturada a materiais radioativos e demais utensílios contaminados, para que possam ser descartados no meio ambiente deve haver um estudo prévio para avaliar as atividades dos radionuclídeos, as rotas destes no ambiente, os usos que a população faz dos recursos naturais nessas rotas, seus hábitos alimentares e de recreação, os tempos decorridos entre o lançamento e as exposições, assim como, as doses resultantes. Somente quando essas doses forem suficientemente baixas, não apresentando riscos, é que as liberações poderão ser autorizadas. No entanto, se a atividade dos rejeitos radioativos e as doses resultantes estiverem acima dos limites recomendados pela legislação, esses rejeitos devem ser armazenados apropriadamente.

Com objetivo de minimizar o volume de rejeitos no país, a CNEN orienta aos usuários que incluam, nos contratos de aquisição de fontes, cláusulas que garantam a devolução das mesmas à instituição de origem. O armazenamento do rejeito radioativo implica no isolamento deste e na restrição de sua liberação para o ambiente. O tempo de armazenamento está diretamente relacionado com o tempo de decaimento dos radionuclídeos presentes no material contaminado.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que, com a observância nas normas aplicáveis, os riscos de acidentes em serviços na disposição dos rejeitos radioativos em serviços de saúde são minimizados.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Certificação de qualificação de supervisores de radioproteção**. Rio de Janeiro: CNEN, 1988. (CNEN-NE-3.03).
- BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Diretrizes básicas de radioproteção**. Rio de Janeiro: CNEN, 2005. (CNEN-NE-3.01).
- BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Ensino radioatividade**. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/ensino/radioatividade.asp>>. Acesso em: 9 abril 2011.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas**. Rio de Janeiro: CNEN, 1985.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Licenciamento de Instalações Radiativas**. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/seguranca/lfc/mod-pesquisa.asp>>. Acesso em: 16 abril 2011.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Licenciamento de instalações radiativas**. Rio de Janeiro: CNEN, 1984.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Requisitos de radioproteção e segurança para serviços de medicina nuclear**. Rio de Janeiro: CNEN, 1996.
- BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Serviços de radioproteção**. Rio de Janeiro: CNEN, 1988. (CNEN-NE-3.02).
- BRASIL. MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Transporte de materiais radioativos**. Rio de Janeiro: CNEN, 1988.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Norma Regulamentadora nº 32: Segurança e Saúde no Trabalho em Estabelecimentos de Saúde**. Publicada no D.O.U. em 16 de novembro de 2005.
- MENDES, R. ; DIAS, C. E. **Da medicina do trabalho à saúde do trabalhador**. Revista de

Saúde Pública, São Paulo, 1991, v. 25, n. 5, p. 341-359.

NOGUEIRA, D. P. **Saúde Ocupacional**. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública – USP, 1984, 182 p.

SÃO PAULO. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Núcleo de Radioproteção.

Recomendações para utilização de fontes radioativas não seladas. Disponível em: <<http://www.fmrp.usp.br/radioprotecao/recomendacoes.htm>>. Acesso em: 9 abril 2011.

SEGURANÇA E TRABALHO on line. **Radiações ionizantes: aplicações e cuidados**.

Disponível em: < <http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/rad-ioniz-cuidados.pdf>>. Acesso em: 9 abril 2011.

XAVIER, A. M. et al. **Programa de gerência de rejeitos radioativos em pesquisa –**

PROGER. Rio de Janeiro: CNEN. Coordenação de Rejeitos Radioativos. 1998. 103 p.