



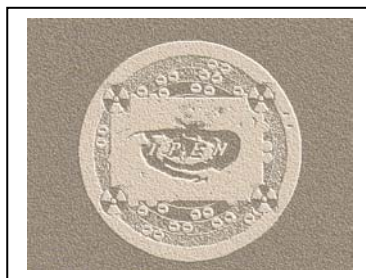
FUNDAMENTOS DE RADIOPROTEÇÃO

Manual de Radioproteção

*Programa Específico de Treinamento
Proteção Radiológica*

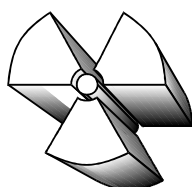
Conceitos Gerais

*Preparado por
Matias Puga Sanches*



Serviço de Radioproteção - NP
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN/SP

SEGURANÇA RADIOLÓGICA
METODOLOGIA PARA RADIOISÓTOPOS



Manual

2002

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

Serviço de Radioproteção

TELEFONES DA RADIOPROTEÇÃO (3816-9000)

| | |
|------------------------------|------|
| Emergência..... | 9226 |
| Secretaria | 9221 |
| Serviço de Radiproteção..... | 9228 |
| <u>Supervisão</u> | |
| Reator..... | 9155 |
| Ciclotron..... | 9360 |
| Acelerador..... | 9270 |
| Descontaminação | 9225 |
| Radiofarmacia..... | 9156 |
| Quimica..... | 9223 |
| Ensino..... | 9219 |

TABELA DE CONTEÚDO

Prefácio

Tabela de Conteúdo

EXIGÊNCIAS ADMINISTRATIVAS

1. Política de Segurança
2. Atribuições e Responsabilidades
 - Instituição
 - Diretoria de Segurança e Radioproteção
 - Supervisor de Radioproteção
 - Chefe de Laboratório
 - Trabalhador

INTRODUÇÃO

FUNDAMENTOS DE FÍSICA

1. Revisão Histórica
2. Estrutura Atômica
3. Radioatividade
 - 3.1 Emissão Alfa
 - 3.2 Emissão Beta
 - 3.3 Emissão de Póstron
 - 3.4 Captura de Elétron Orbital
 - 3.5 Radiação Gama
 - 3.6 Radiação X
 - 3.7 Outras Radiações
4. Decaimento Radioativo
 - 4.1 Meia vida
 - 4.2 Meia vida Efetiva
5. Unidades de Radiação
 - 5.1 Atividade
 - 5.2 Exposição a Radiação
 - 5.3 Dose Absorvida

5.4 Eficácia Biológica Relativa

EXPOSIÇÃO A RADIAÇÃO E AVALIAÇÃO DE RISCO

6. Dosimetria da Radiação
 - 6.1 Monitoração Pessoal
 - 6.2 Exposição Externa
 - 6.3 Exposição Interna
7. Efeitos Biológicos da Radiação
 - 7.1 Efeitos Agudos
 - 7.2 Efeitos Tardios

SISTEMAS DE DETECÇÃO DA RADIAÇÃO

8. Monitoração da Radiação
 - 8.1 Tubo Geiger-Mueller
 - 8.2 Detector Cintilador Sólido
 - 8.3 Detector Cintilador Líquido

FONTES DE RADIAÇÃO NO LOCAL DE TRABALHO

9. Princípios Básicos
 - 9.1 Tempo
 - 9.2 Distância
 - 9.3 Blindagem
 - 9.4 Controle da Contaminação
10. Conservação dos Registros
 - 10.1 Compras
 - 10.2 Uso
 - 10.3 Disposição
 - 10.4 Controle da Contaminação
11. Autorização para Uso de Radioisótopos
 - 11.1 Obtenção de Radioisótopos

- 11.2 Recebimento de Radioisótopos
- 12. Segurança no Ambiente de Trabalho
 - 12.1 Locais
 - 12.2 Capelas
 - 12.3 Pias
 - 12.4 Refrigeradores
 - 12.5 Fontes Radioativas
 - 12.6 Colocação de Símbolos e Avisos
 - 12.7 Variedades
- 13. Equipamento de Proteção Individual

GERENCIAMENTO DE REJEITO RADIOATIVO

- 14. Procedimentos para Disposição
 - 14.1 Gases e Aerossóis
 - 14.2 Líquidos
 - 14.3 Sólidos
 - 14.4 Rejeito de Alta Atividade

RESPOSTA A EMERGÊNCIA RADIOLÓGICA

- 15. Acidentes e Incidentes com Fontes
 - 15.1 Vazamentos
 - 15.2 Fuga em Fontes Seladas
- 16. Descontaminação Individual
 - 16.1 Contaminação Externa
 - 16.2 Contaminação Interna
- 17. Acidentes
 - 17.1 Pessoal com Ferimentos
- 18. Perda ou Roubo de Radioisótopos

APÊNDICE I

Política para o Controle da Exposição a Radiação de Mulheres

APÊNDICE II

Formulários para Controle do Inventário de Radioisótopos, do Decaimento dos Rejeitos e da Contaminação.

APÊNDICE III

Compra de Cartazes

APÊNDICE IV

Disposição de Rejeitos Sólidos

APÊNDICE V

Transporte de Embalados

GLOSSÁRIO DE TERMOS

BIBLIOGRAFIA

EXIGÊNCIAS ADMINISTRATIVAS

Política de Segurança

A principal finalidade do *Serviço de Radioproteção* é garantir a segurança radiológica de todas as pessoas presentes nas instalações do instituto, trabalhadores, estudantes e visitantes.

Um dos objetivos do *Serviço de Radioproteção* é proporcionar um ambiente seguro onde estão sendo realizadas as tarefas do instituto. Devem ser consideradas todas as medidas preventivas para eliminar as possíveis causas acidentais.

O instituto é administrado de tal modo que a garantia de saúde ocupacional, segurança e prevenção de acidentes formam parte integral do projeto, construção, compra e manutenção de todos os edifícios, equipamentos e processos de trabalho.

A *Diretoria de Segurança e Radioproteção* trabalha para obter estes objetivos.

Os *Supervisores de Radioproteção* em cada *Departamento* monitorará os programas de segurança dentro de suas áreas e farão recomendações para melhorar a eficácia, com as quais os objetivos da segurança radiológica, para o instituto, podem ser obtidos.

A obediência à legislação trabalhista relacionada com a prática é o padrão mínimo que é aceito pelo instituto. É intenção encorajar todos os trabalhadores a seguir estes padrões mínimos.

Aplicação

A aplicação desta política será obtida, com êxito, pelo exercício de cada uma de suas responsabilidades quanto a segurança como segue:

O Instituto

É responsabilidade do instituto atuar por meio dos diretores e chefes de departamentos para:

- proporcionar um ambiente de trabalho seguro e saudável
- garantir inspeções regulares e implementar as ações necessárias para melhorar as condições inseguras
- fornecer instalações de primeiros socorros quando apropriado
- estabelecer comitês de segurança para a implementação de um programa de prevenção de acidentes
- garantir concordância com os regulamentos

O Supervisor

É responsável pela supervisão e deve:

- formular instruções de segurança específicas e procedimentos de trabalho para sua área de atuação
- garantir que todos os trabalhadores sob sua supervisão estejam a par de

- todos os procedimentos de segurança
- proporcionar treinamento na operação segura dos equipamentos
- regularmente inspecionar suas áreas quanto as condições de risco
- investigar qualquer acidente usando o método apropriado
- estabelecer um comitê de segurança no departamento ou instalação

Os Trabalhadores

Cada trabalhador é responsável para:

- observar as instruções e procedimentos de segurança estabelecidos pelo supervisor e chefe de departamento
- tomar parte ativa na prática de hábitos no trabalho seguro
- imediatamente reportar qualquer acidente, ferimento ou condição insegura ao supervisor
- usar adequadamente e cuidar dos equipamentos de proteção individual fornecido

Atribuições e Responsabilidades

Legislação Federal estabelecida para o uso e manuseio de material radioativo: a CNEN é o organismo federal que administra as práticas envolvendo o uso de material radioativo. A CNEN emite autorização para as instalações e define as atribuições e responsabilidades dos empregadores e supervisores.

Estas responsabilidades incluem a garantia de que todas as pessoas envolvidas com o manuseio de radioisótopos possuam treinamento adequado e experiência que os capacite a

realizar suas tarefas de forma segura e de acordo com o programa de proteção radiológica e as exigências regulatórias. Além disso, exige-se o estabelecimento de um *serviço de radioproteção* para assegurar a existência de equipamentos e instalações adequados e que estão em conformidade com as exigências regulatórias.

O *serviço de radioproteção* também é exigido para garantir que as doses recebidas por qualquer pessoa envolvida no uso de radioisótopos não exceda os limites especificados pela CNEN.

O programa de radioproteção do instituto está baseado no princípio de que as exposições a radiação e os riscos associados são tão baixos quanto racionalmente aplicáveis (ALARA). Este princípio ALARA está sujeito à condição de que todas as exposições não devem exceder aos limites regulatórios.

Além disso, a política implica em simplesmente aplicar os limites regulatórios e não adequá-los e que devem ser aplicados esforços para reduzir ou eliminar as exposições a radiação.

O *serviço de radioproteção* também aprova o uso de radioisótopos pelos usuários somente quando estes atenderem a todas as exigências regulatórias, ambientais e institucionais. O *serviço de radioproteção* pode não autorizar o uso de material radioativo apresentando as razões que o levaram a tomar tal atitude.

A CNEN também define as instruções e responsabilidades do chefe da instituição e dos usuários de material radioativo

bem como do *supervisor de radioproteção*.

Em termos gerais: o *chefe da instituição* é pessoalmente responsável pela segurança radiológica em todas as áreas especificadas na sua autorização; os *trabalhadores* são pessoalmente responsáveis pelo manuseio seguro do material radioativo; e o *supervisor de radioproteção* é responsável pela coordenação e vigilância de todos os aspectos de segurança radiológica dentro da instituição.

Responsabilidade Específica da Instituição

A instituição pode melhor garantir que as fontes de radiação ionizante são manuseadas de maneira segura implementando a participação ativa de todos os grupos de trabalhadores e gerentes no programa de segurança radiológica. Em situações específicas, a contribuição respectiva destas partes dependerá das exigências regulatórias, estrutura organizacional, e da autoridade e responsabilidade dos gerentes e grupos de trabalhadores.

Os trabalhadores certificados devem, por lei, garantir que eles e aquelas atividades sob seu controle atendam a qualquer exigência regulatória aplicável e condições estabelecidas na autorização. A CNEN somente autoriza instituições que possuam capacidade e responsabilidade legal; quer seja, indivíduos, empresas ou instituições. Quando é emitida a autorização para aquisição de radioisótopos por uma instituição, é emitida a autorização para a organização. Uma vez autorizada, a instituição torna-se e permanece responsável legalmente pela

conformidade dentro dos termos da autorização e qualquer outra exigência regulatória.

A instituição escolheu delegar, em parte ou totalmente, algumas das atribuições ao *Serviço de Radioproteção* e ao *Supervisor de Radioproteção*.

Composição e Atribuição do Serviço de Radioproteção

O *serviço de radioproteção* engloba os supervisores de radioproteção e técnicos de radioproteção selecionados ou indicados por causa de sua experiência em matéria de segurança radiológica. Coletivamente, o *serviço de radioproteção* auxilia os gerentes das instalações em matéria de segurança radiológica como um todo, e verifica a eficácia do programa de segurança radiológica dentro da instituição.

Quando autorizado pela instituição, o *serviço de radioproteção* pode:

- (i) inspecionar a segurança radiológica a interesse da instituição;
- (ii) auxiliar os gerentes em matéria de segurança radiológica, incluindo o uso seguro de material radioativo durante as atividades autorizadas;
- (iii) revisar todos os programas de segurança radiológica propostos ou existentes e procedimentos para determinar se eles garantem que as exposições a radiação estão de acordo com os limites regulatórios e se são ALARA;
- (iv) revisar todos os usos de material radioativo, e sua localização de uso proposta, para determinar se suas finalidades atendem aos

- procedimentos corporativos e exigências regulatórias;
- (v) avaliar a adequacidade, em termos do conteúdo e planejamento para os programas de treinamentos praticados para os trabalhadores;
 - (vi) avaliar os resultados, e determinar a eficácia, dos programas da instituição para o treinamento dos trabalhadores;
 - (vii) revisar os resultados das inspeções internas para avaliação do uso seguro do material radioativo segundo as atividades autorizadas pela CNEN;
 - (viii) revisar os resumos anuais das exposições ocupacionais a radiação pelos grupos de trabalhadores para determinar se estas exposições atendem ao princípio ALARA;
 - (ix) revisar os relatórios relativos a qualquer incidente ou ocorrência anormal na instalação que envolve material radioativo;
 - (x) recomendar medidas corretivas ou melhorias quando sua avaliação ou revisão identificar deficiência na proposição, programa, prática, procedimento, equipamento, registro ou relatório;
 - (xi) recomendar medidas ou melhorias para evitar a recorrência de qualquer incidente que expôs o grupo de trabalhadores a radiação, ou para evitar a recorrência de qualquer outro evento anormal envolvendo material radioativo;
 - (xii) auxiliar o gerente na obtenção de recursos adicionais para estabelecer, manter ou melhorar o programa de segurança radiológica; e

- (xiii) manter registros por escrito de suas atividades, decisões, ajudas e recomendações relativas a segurança radiológica, incluindo os detalhes dos dados obtidos e revisados, relatórios, programas, procedimentos, circunstâncias, incidentes ou ocorrências anormais.

Atribuições do Supervisor de Radioproteção (SRP)

O SRP foi designado com a responsabilidade para garantir a segurança radiológica de todos os locais classificados como áreas restritas dentro da instituição.

Para garantir a segurança radiológica e concordância com as exigências regulatórias o SRP é autorizado a fazer o seguinte:

- (i) supervisionar, auxiliar e consultar assuntos relacionados com o uso de material radioativo na instituição em obediência às condições regulatórias e autorizadas;
- (ii) preparar relatórios anuais de acordo com os documentos regulatórios, e qualquer condição pertinente contida na autorização para aquisição de material radioativo emitida para a instituição;
- (iii) revisar de modo independente ou em conjunto com o **Serviço de Radioproteção**, questionamentos dos trabalhadores a respeito de autorização para obtenção e uso de material radioativo de modo a garantir que o uso e local proposto são adequados e estão de acordo com as exigências regulatórias e da certificação;

- (iv) para os materiais radioativo, autorizar somente aquisições, usos, procedimentos de trabalho, e condições e locais de uso que garantem concordância com o programa de radioproteção da instituição, com as exigências regulatórias e da certificação;
- (v) avaliar e estabelecer como nível básico, intermediário ou alto, de acordo com as condições da certificação, aqueles laboratórios que usam material radioativo;
- (vi) manter um registro de todos os laboratórios que usam material radioativo, e se eles foram classificados como nível básico, intermediário ou alto;
- (vii) estabelecer e implementar controles administrativos ou procedimentos para garantir a segurança radiológica e concordância com as exigências regulatórias;
- (viii) avaliar as qualificações e competências de pessoas que se submetem a aplicação, uso ou manuseio de material radioativo para determinar se podem fazê-lo de modo seguro e em concordância com os regulamentos e com a certificação;
- (ix) garantir que o programa de proteção radiológica é adequado para a instituição para o qual foi estabelecido, implementado e mantido;
- (x) garantir que as pessoas que usam ou manuseiam material radioativo foram adequadamente treinadas em segurança radiológica e nos procedimentos de radioproteção da instituição;
- (xi) autorizar pessoas qualificadas a obter, usar ou manusear material radioativo;
- (xii) autorizar a disposição segura de material radioativo de acordo com os regulamentos, procedimentos e condições de certificação aplicáveis;
- (xiii) definir em que condição o trabalhador com radiação é enquadrado;
- (xiv) avaliar, independentemente ou em conjunto com o **Serviço de Radioproteção**, a eficácia do programa de radioproteção;
- (xv) garantir que os trabalhadores classificados como porteiros, auxiliares de limpeza, secretárias ou outros funcionários prestadores de serviços de suporte, que podem estar expostos a radiação como consequência de suas atribuições, recebam treinamento adequado em segurança radiológica;
- (xvi) estabelecer e implementar programas para a inspeção e revisão das atividades certificadas, locais de uso de material radioativo, armazenamento de material radioativo, e a adequabilidade do treinamento do pessoal, procedimentos de segurança ou instalações físicas;
- (xvii) implementar ações reparadoras para corrigir qualquer deficiência identificada nos programas de inspeção relacionados com (xvi);
- (xviii) iniciar qualquer revisão de procedimentos, alterações em equipamentos e instalações, e cláusulas da certificação necessárias para garantir que as operações autorizadas, equipamentos e instalações estão

- de acordo com as exigências regulatórias;
- (xix) comunicar-se com a **Diretoria de Segurança e Radioproteção**, usuários de material radioativo, e gerentes;
 - (xx) projetar e implementar de acordo com as exigências regulatórias, programas de monitoração individual e bioanálise apropriados para medir as exposições externas e internas;
 - (xxi) administrar ou controlar a finalidade, uso, e manutenção dos dispositivos de monitoração individual e equipamentos dentro da instituição, e o registro dos resultados;
 - (xxii) monitorar as exposições ocupacionais recebidas pelos trabalhadores por meio da revisão dos registros de exposição de cada ano calendário;
 - (xxiii) onde as revisões das exposições indicarem que encontram-se muito altas, recomendar medidas para o gerente para reduzir estas exposições de acordo com o princípio ALARA ;
 - (xxiv) investigar todos os relatórios de sobre-exposição a radiação ionizante, de acidentes envolvendo material radioativo, e de perda de material radioativo, para determinar fatos pertinentes ou confirmar eventos, e recomendar ações apropriadas para amenizar as conseqüências ou para evitar recorrências ;
 - (xxv) garantir que os incidentes relativos a (xxiv), e os resultados das investigações, sejam reportados de acordo com as exigências regulatórias;
 - (xxvi) avaliar a adequacidade do programa de monitoração que mede ou controla os campos de radiação e contaminação radioativa durante as atividades autorizadas, tais como o uso, armazenamento e disposição de material radioativo;
 - (xxvii) garantir, através da participação ou outras medidas, que os programas de descontaminação radioativa, adequadamente projetados, foram implementados quando exigidos, no interesse da segurança radiológica;
 - (xxviii) garantir que as fontes de radiação seladas são submetidas ao teste de fuga de acordo com os procedimentos da instituição e exigências regulatórias;
 - (xxix) garantir que todas as pessoas que usam ou manuseiam material radioativo seguem os procedimentos da instituição, de modo a evitar a exposição ocupacional a radiação ionizante que excede aos limites especificados nas normas ou que violam o princípio ALARA;
 - (xxx) quando for emitida uma autorização para uso de radioisótopos para fins de pesquisa, diagnóstico ou terapia, comunicar ou cooperar com o médico ou grupo responsável, quando necessário, para garantir o uso seguro do material radioativo e atender as exigências estabelecidas na licença e nos regulamentos;
 - (xxxi) preparar ou revisar os procedimentos de segurança radiológica propostos ou existentes, de maneira independente ou em cooperação com a organização operadora;

- (xxxii) coordenar ou participar nas respostas a emergências em acidentes envolvendo material radioativo;
- (xxxiii) garantir que todos os registros e relatórios que são exigidos pelas condições estabelecidas na licença para uso de radioisótopos e pelos regulamentos sejam emitidos, mantidos e enviados de acordo com as exigências; e
- (xxxiv) garantir que qualquer radioisótopo que será transportado por vias públicas seja embalado de acordo com a norma CNEN-NE 5.01 Transporte de Materiais Radioativos.

Responsabilidades da Organização Operadora – Possuidor da Licença de Operação

- (1) Garantir que as condições estabelecidas na licença sejam cumpridas e que as práticas de segurança no laboratório sejam mantidas.
- (2) Garantir que todo grupo de trabalhadores e estudantes sob sua supervisão e que utilizam material radioativo sejam autorizados para o uso destes materiais. Manter uma lista atualizada de todo pessoal autorizado a manusear material radioativo.
- (3) Garantir que se necessário, todo grupo de trabalhador que utiliza material radioativo possui e utiliza um dosímetro individual e participa dos programas de bioanálise.

- (4) Estabelecer áreas específicas para trabalho e armazenamento de materiais radioativo e garantir que estas áreas estão sendo mantidas em boas condições de limpeza, sinalizadas, com boa ventilação e blindagem adequada.
- (5) Garantir que todo grupo de trabalhador que utiliza material radioativo recebeu treinamento adequado em radioproteção e foi informado sobre os riscos associados com a exposição a radiação ionizante. Além disso, os possuidores de licença são responsáveis pelo fornecimento de treinamento específico no manuseio de radioisótopos que é necessário para o uso seguro dos materiais radioativos presentes no laboratório.
- (6) Manter o inventário de todos os materiais radioativos adquiridos e usados bem como os registros de armazenamento e disposição como rejeito.
- (7) Manter todos os registros das monitorações de área e dos testes de esfregação.
- (8) Notificar todos os incidentes com radiação ao SRP.

Responsabilidades do Usuário de Material Radioativo

- (1) Qualquer pessoa deve tomar todas as precauções racionais e necessárias para garantir a sua própria segurança e a segurança de seus parceiros.

- (2) Qualquer pessoa deve aplicar estritamente a política e os procedimentos definidos pela organização operadora.

Licença para Uso de Radioisótopos

Obtenção da Licença para Uso de Radioisótopos

Qualquer pesquisador que for utilizar material radioativo na pesquisa conduzida sob sua supervisão deve obter uma autorização para uso de material radioativo. A pesquisa envolvendo o uso de radioisótopos não pode ser conduzida sob uma licença emitida para um pesquisador não envolvido nas atividades do laboratório. O solicitante da autorização deve ser um membro da organização operadora e ter realizado o curso de segurança radiológica e metodologia para uso de radionuclídeos.

As autorizações são obtidas com a aprovação do SRP. O formulário de autorização requer uma assinatura de aprovação do Chefe do Departamento. O formulário preenchido é enviado ao SRP e é verificado pelo Serviço de Radioproteção. A análise e emissão dos pareceres podem exigir alguns dias de antecedência para a realização das tarefas.

Modificação de uma Autorização para Uso de Radioisótopos

Uma modificação em qualquer uma das condições definidas na autorização para uso de material radioativo deve ser aprovada pelo SRP. Deve ser feita uma solicitação por escrito indicando as alterações propostas, a autorização deve ser renovada antes do possuidor da

licença realizar a alteração sendo apreciada.

Procedimento para Revogação da Autorização e Retirada de Funcionamento de um Laboratório.

Quando um pesquisador obtém uma licença para uso de radioisótopos, ele aceita a responsabilidade pessoal por todas as atividades associadas. Isto significa garantir que quando já não existe mais a necessidade do uso de material radioativo ou o pesquisador retira-se da organização operadora por qualquer outra razão, o procedimento de revogação da licença deve ser seguido para que possa ser cancelada as responsabilidades a ele atribuídas na licença.

Requerido pelo portador de Licença:

- 1) Memorando estabelecendo a intenção de não mais utilizar a licença de uso de material radioativo.
- 2) Realizar o teste de esfregaço em todos os laboratórios autorizados para uso de material radioativo.
- 3) Registro da disposição como rejeito dos radionuclídeos, isto pode incluir a transferência de parte do material radioativo a outro pesquisador portador de licença.
- 4) Completar o relatório sobre o inventário do material radioativo.
- 5) Se o pesquisador* esta saindo da organização operadora, ou não intenciona renovar a licença, todos os registros dos radioisótopos adquiridos, usados, dispostos

como rejeito e de controle da contaminação devem ser repassados para o SRP.

*Observação: O possuidor de licença é responsável pela garantia de que os passos da retirada de funcionamento foram seguidos. A falha na aplicação disto é de responsabilidade do Departamento.

Após a complementação dos passos anteriores, o Supervisor de Radioproteção removerá toda a sinalização que possa estar relacionada com a indicação de presença da radiação ionizante. Conseqüentemente, será emitida uma carta estabelecendo que a licença foi cancelada. A retirada de funcionamento do espaço ocupado pelo laboratório só será completada após a verificação pelo SRP.

Reativação da Licença

Se o pesquisador for utilizar material radioativo novamente, ele necessita simplesmente resubmeter o formulário requerendo a renovação da autorização ao SRP.

Relatório Anual

No final de cada ano, a CNEN exige do SRP a emissão de um relatório resumido de todas as atividades relacionadas com o uso de material radioativo.

INTRODUÇÃO

O propósito deste manual é ajudar na preparação do pessoal para realizar os trabalhos com material radioativo com segurança. Os temas desenvolvidos são: uma introdução a radiação ionizante, efeitos causados a saúde, manutenção de registros, aspectos práticos do manuseio de material radioativo e fontes de radiação ionizante, descontaminação de áreas e de pessoas, uso adequado dos monitores de radiação e medidas de resposta a emergências.

O principal objetivo do Programa de Segurança Radiológica é garantir a segurança e o uso inteligente das fontes e dispositivos emissores de radiação ionizante na pesquisa, ensino e meio ambiente.

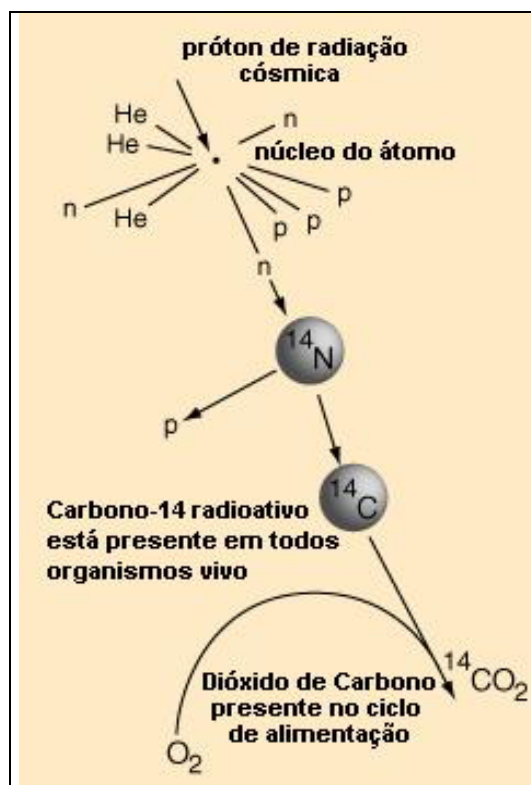
FUNDAMENTOS DE FÍSICA

1. Panorama Histórico

Quando da formação do planeta, a maior parte do material constituinte era radioativo. Com o passar do tempo, esta atividade decaiu até que somente aqueles isótopos de meia vida extremamente longa, por exemplo, urânio-238 com $4,47 \times 10^9$ anos, e seus produtos de decaimento sejam encontrados na terra. A maior parte do material radioativo que é utilizado na pesquisa científica e na medicina é gerada em aceleradores de partículas ou reatores nucleares.

Nós estamos continuamente expostos às radiações atômicas provenientes da terra e somos bombardeados por diferentes

tipos de radiações emitidas pelo sol, estrelas e galáxias. Quando a radiação cósmica entra em nossa atmosfera, são gerados átomos radioativos, tais como o carbono-14, que será incorporado nos suprimentos de água e nos alimentos.



A vida na terra encontra-se envolvida neste inescapável banho de radioatividade de ocorrência natural e todos os organismos vivo, inclusive os seres humanos, assimilam este material em sua composição química básica. Embora a radiação ionizante esteja presente desde os primórdios dos tempos, não foi identificada até o ano de 1885 quando Wilhelm C. Roentgen descobriu os raios X.

O interesse em volta deste novo raio manifestou-se de modo imediato e intenso. Em poucos meses após a

descoberta foram observados os primeiros casos de enfermidades causadas pela sobreexposição a radiação, eritema, queimadura de pele, anemia aplástica, cujo desconhecimento sobre a origem destas enfermidades não proporcionava resposta terapêutica adequada.

Um ano após a descoberta de Roentgen para os raios X, Henri Becquerel descobriu que as radiações emitidas pelo sal de urânio eram capazes de impressionar filmes fotográficos. Em 1898, o elemento polônio foi isolado a partir de várias toneladas de minério por Marie e Pierre Curie. Em seguida foi estabelecida uma intensa pesquisa, resultando no isolamento do elemento radioativo rádio e a descoberta e subsequente investigação da partícula alfa. Os laboratórios em que esta pesquisa foi realizada foram consideravelmente contaminados com rádio, onde até cerca de um grama do material era usado em algumas circunstâncias.



Alguns efeitos iniciais manifestados na saúde foram as queimaduras de pele, deformação de dedos e câncer. Um outro grupo de trabalhadores expostos ocupacionalmente, foi o grupo composto por mulheres que eram empregadas na década de 1920 para realizar pintura em ponteiros de relógio. No processo de suas tarefas ingeriam pequenas quantidades de rádio e mais tarde contraíram óbito decorrente dos vários tipos de cânceres induzidos pela radiação.

O primeiro passo organizado no sentido de padronizar a proteção radiológica foi dado em 1915 no primeiro encontro realizado pela British Roentgen Society, onde foi estabelecida uma resolução que "...esta Sociedade considera uma matéria de grande importância que a segurança das pessoas envolvidas nas operações de realização de exames com raios-roentgen deveria ser preservada pela adoção universal de regras rigorosas...".

Em 1928, no Segundo Congresso Internacional de Radiologia, foi constituído um Comitê Internacional sobre Proteção a Radiação X e Rádio agora conhecido como Comissão Internacional de Proteção Radiológica-ICRP. Esforços antecipados pela ICRP foram dirigidos no sentido de estabelecer unidades para a radiação e elaborar algumas recomendações sobre proteção.

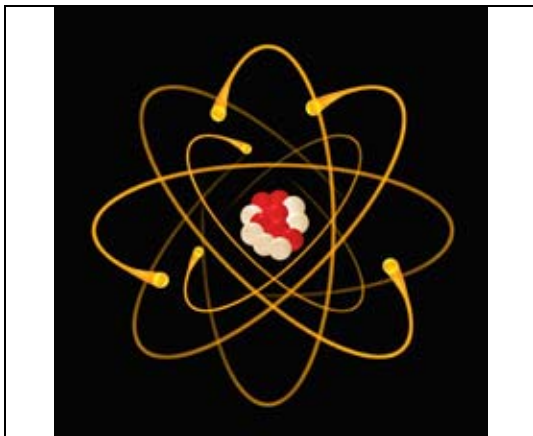
Atualmente a ICRP providencia estudos mais elaborados das várias facetas relacionadas com a radioproteção, faz recomendações e emite relatórios que compõem a base da legislação aplicada no mundo. No Brasil, a legislação federal que estabelece o controle da radioatividade é estabelecida pela Comissão Nacional de Energia Nuclear -

CNEN. Dispositivos que emitem radiação, como as máquinas de raios X, também são regulamentados pelo Ministério da Saúde.

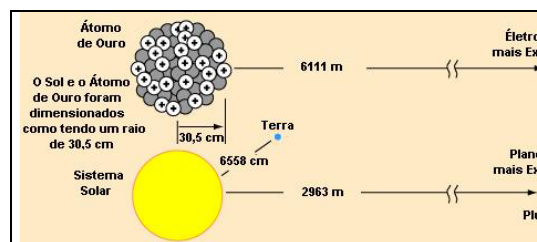
2. Estrutura Atômica

Apesar dos anos gastos em intensos trabalhos teóricos e experimentais, não foi estabelecido um modelo completamente satisfatório para a estrutura atômica nem para a estrutura nuclear. Foram propostos muitos modelos, cada um deles capazes de explicar parte, mas nem todas, as características físicas do átomo e do núcleo atômico foram desvendadas. Até mesmo as estruturas propostas mais aceitáveis são incompletas e pesquisas, constantemente, tem estabelecido novas questionamentos e fornecido novas respostas para a estrutura básica dos átomos e para as substâncias.

Para o propósito deste manual o modelo atômico de Bohr descreve adequadamente a estrutura atômica. Refere-se a um modelo simples semelhante ao sistema solar, com os elétrons negativos circundando o núcleo carregado positivamente.



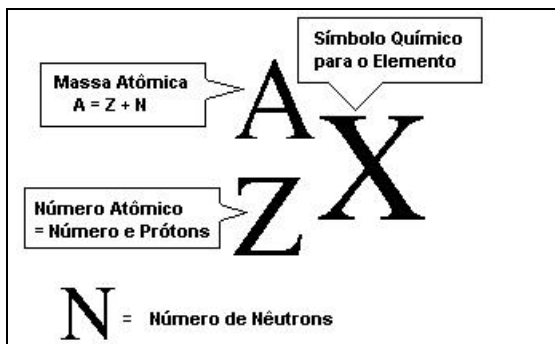
O núcleo é a massa central do átomo e é composto de dois tipos de partículas: o próton que possui uma carga elétrica positiva, e o nêutron que é eletricamente neutro. A massa de cada nêutron e próton é aproximadamente uma unidade de massa atômica, *uma*, e é igual a 1/12 de um átomo de carbono-12, isto é, $1,66 \times 10^{-24}$ g.



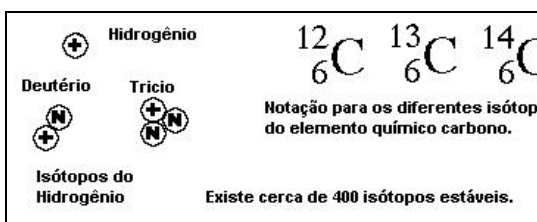
Os elétrons circundam ao redor do núcleo em órbitas com distâncias discretas bem definidas. Cada elétron porta uma carga elétrica negativa e possui uma massa de 1/1836 da massa do próton. Existe cerca de 109 elementos, cada um dos quais é caracterizado por dois termos relacionados.

A = número de massa, ou massa atômica, igual a soma de prótons e nêutrons existentes no núcleo.

Z = número atômico igual ao número de prótons existente no núcleo; Z também é igual ao número de elétrons ao redor do núcleo, compondo um átomo neutro, não ionizado.



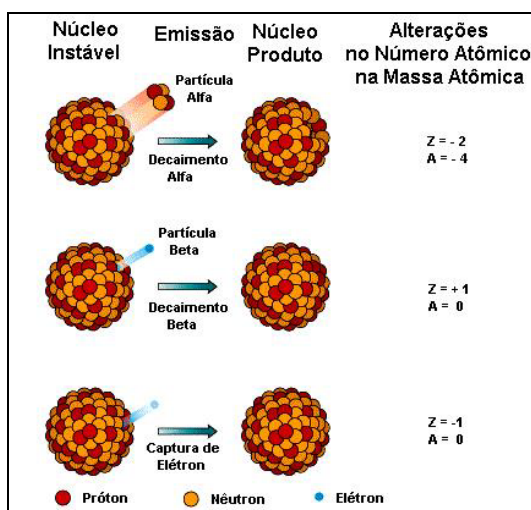
Dado que o número de prótons, e assim o número atômico definem um tipo específico de átomo, o número de nêutrons pode variar sem que haja alteração nas características químicas do átomo. Portanto, podem existir várias espécies de nuclídeos com o mesmo número atômico. Estas variações de nuclídeos são chamadas de isótopos e são definidas como nuclídeos possuindo um número igual de prótons, porém apresentam um número diferente de nêutrons. Os isótopos são átomos do mesmo elemento que possuem o mesmo número atômico (Z), porém apresentam uma massa atômica diferente (A). Um elemento pode possuir muitos isótopos, sendo que alguns deles se apresentam normalmente estáveis e outros radioativos. Entretanto, vários elementos pesados, tais como o tório, urânio e plutônio não possuem isótopos estáveis.



3. Radioatividade

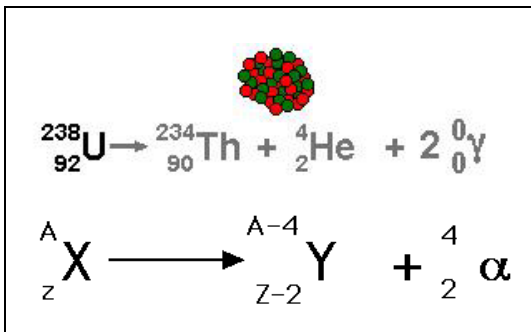
A radioatividade pode ser definida como eventos nucleares espontâneos que resultam na transmutação atômica de um elemento em um elemento diferente. São envolvidos muitos mecanismos distintos nestas transformações nucleares, dos quais a emissão de partículas alfa, partículas beta e emissão de pósitrons, e a captura de um elétron orbital são apresentados como exemplos. Cada uma destas reações pode ou não ser acompanhada pela emissão de radiação gama. O modelo exato de transformação radioativa depende de dois fatores:

- O tipo particular de instabilidade nuclear, razão entre nêutrons e prótons muito grande ou muito pequena.
- A relação massa-energia entre o núcleo pai, núcleo filho, e a partícula emitida.

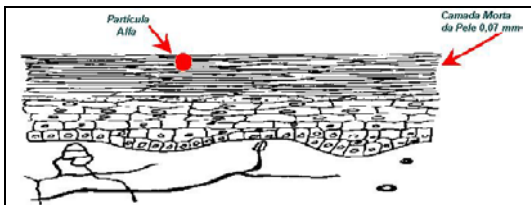


3.1 Emissão Alfa

Uma partícula alfa (α) é um fragmento nuclear com uma grande massa, altamente energético que é emitido do núcleo de um átomo radioativo quando a razão de nêutrons para prótons é muito pequena. É um núcleo de hélio positivamente carregado, consistindo de dois prótons e dois nêutrons.

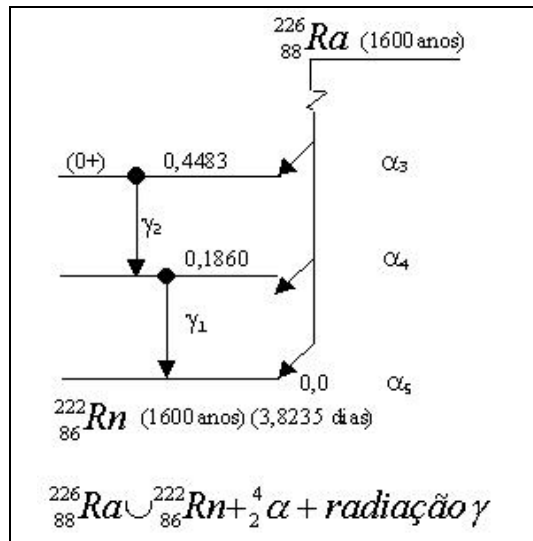


Por causa de sua massa e carga, as partículas alfa são extremamente limitadas em sua habilidade em penetrar a matéria. A camada morta de pele que cobre o corpo inteiro é suficientemente espessa para interromper a passagem e absorver toda radiação alfa. Como consequência, a radiação alfa proveniente de fontes externas ao corpo não representa um risco de radiação.



Entretanto, as células que são irradiadas pelas partículas alfa emitidas pelos átomos que foram introduzidos dentro do corpo por injeção, ingestão ou inalação sofrem graves efeitos e, provavelmente, apresentarão danos de modo permanente. Por isso, a radiação alfa apresenta um risco muito grande quando introduzida no corpo.

As partículas alfa são extremamente perigosas quando depositadas internamente; porém a sua falta de habilidade para penetrar a roupa ou a superfície da camada morta de pele minimiza o risco de exposição externa..

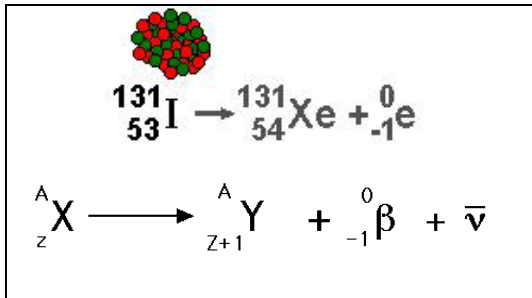


3.2 Emissão Beta

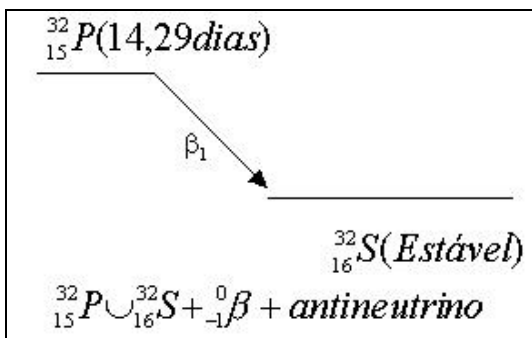
Uma partícula beta menos (β^-) é um elétron que é ejetado de um átomo radioativo instável. A partícula possui uma única carga elétrica negativa ($-1,6 \times 10^{-19}\text{C}$) e uma pequena massa (0,00055 uma). A partícula beta, ou

negatron é emitida no momento em que um nêutron se transforma em um próton.

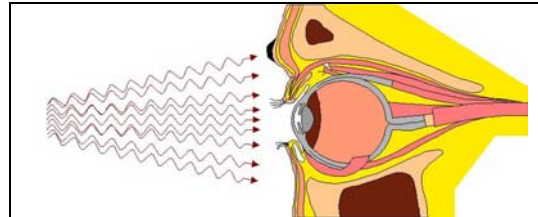
O decaimento beta ocorre entre aqueles isótopos que possuem um excesso de nêutrons.



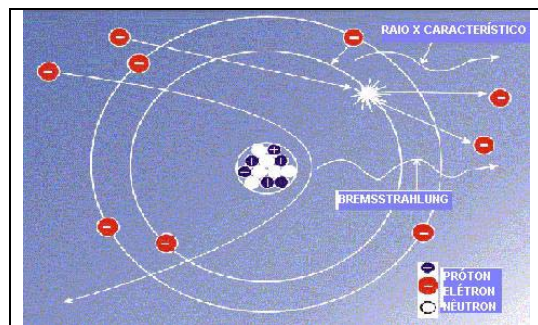
O próton permanece no núcleo, portanto não existe variação no número de massa, porém a partícula beta é emitida. Uma vez que o número de prótons foi aumentado de um, o número atômico (Z) também é aumentado de um. Durante este processo, também é emitida uma partícula chamada de antineutrino, possuindo uma massa desprezível e não portadora de carga elétrica. As partículas beta possuem um alcance de poucos milímetros no tecido, assim a exposição externa não tem penetração ao interior do corpo. Portanto, este tipo de partícula pode produzir um dano significativo decorrente da radiação sobre as células da pele.



As partículas beta de alta energia podem causar danos na córnea e no cristalino dos olhos bem como produzir doses significativas na pele.



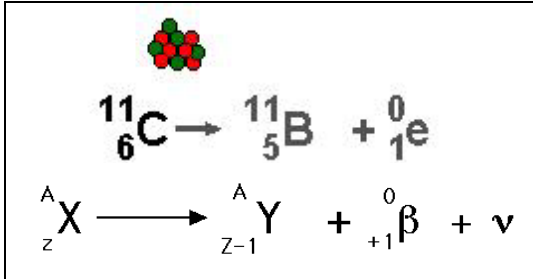
A interação da partícula beta com a matéria resulta na produção de radiação penetrante denominada radiação de frenamento (bremsstrahlung). As blindagens para radiação beta devem ser confeccionadas em plexiglass (lucite).



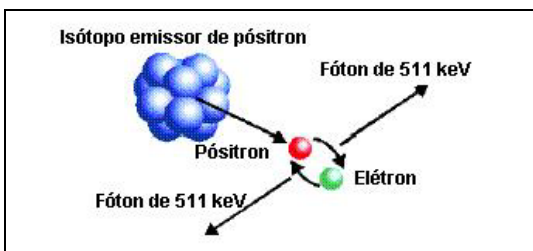
3.3 Emissão de Póstron

Um póstron (β^+) é uma partícula beta com uma única carga elétrica positiva ($+1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$). Possui a mesma massa residual que um elétron negativo (0,00055 uma) e é emitido do núcleo em que a razão nêutron para próton é muito baixa e a emissão alfa não é

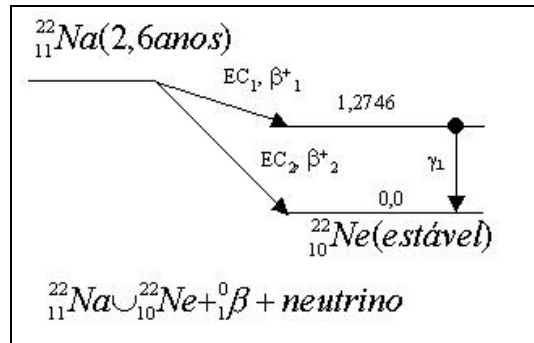
energeticamente possível. Os pósitrons e antineutrinos são classificados como antimatéria, enquanto que os negatrons e neutrinos são classificados como matéria.



Durante este processo, é emitida uma partícula chamada neutrino possuindo uma massa desprezível e sem carga elétrica. Enquanto os elétrons são possíveis de existir livremente, estes pósitrons de antimatéria possuem somente uma existência transitória. O pósitron rapidamente combina com um elétron, que resulta na aniquilação de ambas as partículas e a geração de dois fótons de radiação gama com uma energia de 511 keV cada um. Os riscos associados com a emissão de pósitrons resultam desta radiação gama.

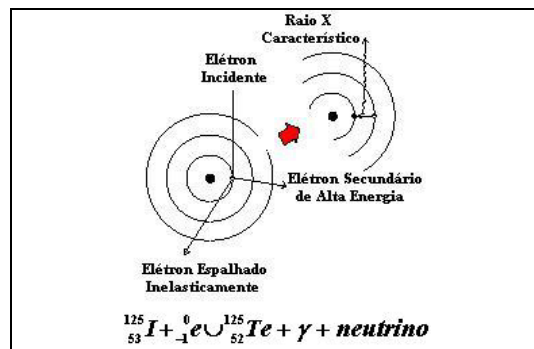
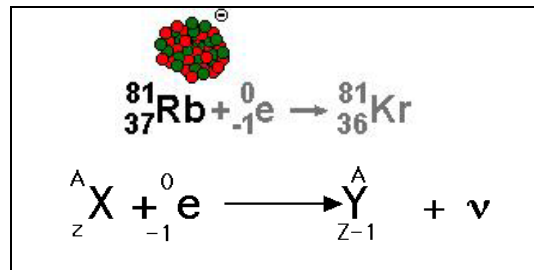


A radiação de aniquilação requer blindagem de chumbo.



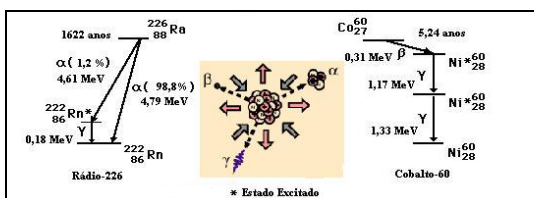
3.4 Captura de Elétron Orbital

A *captura de elétron* ou "captura K" é um processo onde um dos elétrons da órbita K é capturado pelo núcleo e une-se a um próton para formar um nêutron. É emitido raios X característicos do elemento filho quando um elétron de uma órbita mais externa preenche o nível de energia que era ocupado pelo elétron que foi capturado.



3.5 Radiação Gama

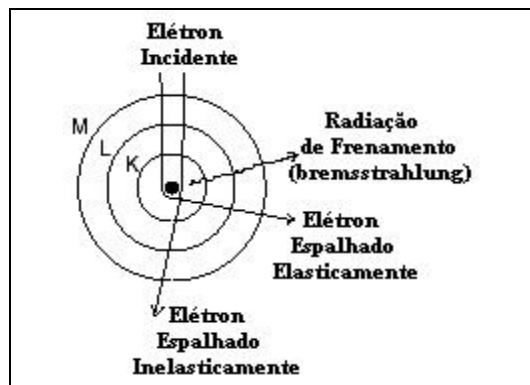
As radiações eletromagnéticas monoenergéticas que são emitidas a partir de núcleos de átomos excitados após transformações radioativas são chamadas de radiação gama (γ). Em muitos casos, após o processo de decaimento alfa ou beta, a emissão de radiação gama é o mecanismo pelo qual um núcleo perde energia para sair de um estado excitado de alta energia para um estado estável de baixa energia.



3.6 Radiação X

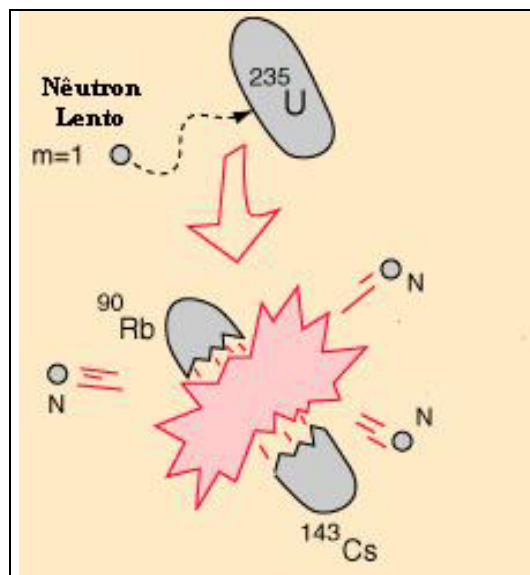
Os raios X são radiações eletromagnéticas geradas fora do núcleo atômico. Tanto a radiação X como a radiação gama são altamente penetrantes e podem produzir doses de radiação de corpo inteiro. Um tipo de radiação X que oferece um risco a segurança nos laboratórios de pesquisa é aquele denominado radiação de frenamento (*bremstrahlung*). Estes fótons são emitidos quando os elétrons são desacelerados rapidamente ao interagir com o campo elétrico ao redor do núcleo atômico. A energia do fóton resultante está relacionada com a energia do elétron incidente ou β^- bem como com a intensidade do campo elétrico. Estas forças são maiores em núcleos possuidores de alto número atômico. Por esta razão, o chumbo não é um material apropriado para blindagem de isótopos que emitem radiação beta. Usando material de blindagem composto de

átomos de baixo número atômico, tais como o hidrogênio, carbono e oxigênio, a energia e a intensidade da radiação de frenamento (*bremstrahlung*) é minimizada. Portanto, o lucite (plexiglass) deve ser escolhido como material para blindagem da radiação beta.



3.7 Outras Radiações

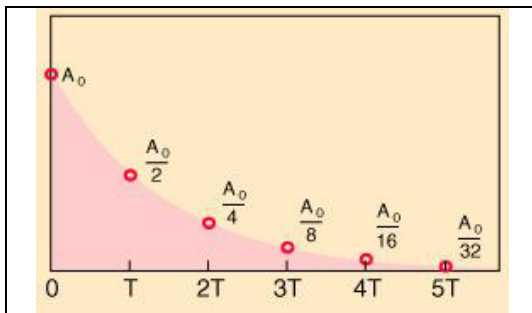
Outras radiações, tais como os nêutrons lentos e rápidos, mesons, prótons, etc. não serão apresentadas neste manual.



4. Decaimento Radioativo

4.1 Meia Vida Física ($T_{1/2}$)

Estudos anteriores sobre os materiais radioativos mostraram que a atividade de cada radioisótopo decresce com sua própria taxa característica. Por exemplo, quando a atividade do fósforo-32 é medida diariamente durante um período de dois meses, e a percentagem da atividade inicial é graficada em função do tempo obtém-se uma curva característica.



Observações experimentais mostraram que a metade da quantidade inicial de P-32 é alcançada em 14,3 dias, a metade da quantidade restante em outros 14,3 dias, e assim sucessivamente. Este período de tempo em que a metade da atividade original decai é chamado de meia vida física.

Quando um átomo decai, o número atômico (Z) normalmente é alterado tanto pela diminuição ou aumento do número de prótons. Assim, um átomo de um elemento específico raramente decai para o mesmo elemento, os isômeros são uma exceção a esta regra. Isto pode ser de grande significado em procedimentos de pesquisa, pois um novo elemento pode apresentar características químicas muito

diferentes daquelas apresentadas pelo elemento original.

Se a meia vida de um isótopo é curta, é importante saber como determinar a quantidade de atividade que decaiu após a compra do material antes de utilizá-lo, durante o desenvolvimento de uma experiência, bem como o período de decaimento para tratá-lo como rejeito. Parte-se do princípio que o cálculo da atividade presente é baseado na observação durante um tempo (t), e que existe um certo número de átomos (N). A lei para a constante fracionária do decaimento exige que durante um pequeno período de tempo (dt), o número de átomos decaindo (dN), seja

$$dN = -\lambda \cdot N \cdot dt$$

onde a constante de proporcionalidade (λ), é chamada de constante de decaimento e $N\lambda$ é chamada de atividade (A). Integrando esta equação obtém-se a relação entre N e t :

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

sendo que

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}$$

então

$$N = N_0 \cdot e^{-0,693 \cdot \frac{t}{T_{1/2}}}$$

onde N é o número de átomos no tempo t , $T_{1/2}$ é a meia vida, e N_0 é o número de átomos em $t = 0$.

Multiplicando ambos os lados por λ temos:

$$N \cdot \lambda = N_0 \cdot \lambda \cdot e^{\frac{-0,693 \cdot t}{T_{1/2}}}$$

Ou finalmente

$$A = A_0 \cdot e^{\frac{-0,693 \cdot t}{T_{1/2}}}$$

Portanto, o número de átomos radioativos, e a atividade sempre decaem juntamente.

Exemplo:

Um pesquisador recebeu um embalado contendo fósforo-32. A documentação do fornecedor indicava que na data da expedição em 26 de março a atividade da fonte era de 555 MBq. O pesquisador, portanto, esteve incapacitado de utilizar o material até 30 de abril. Qual era a atividade presente na data do experimento?

Dados: $A = ?$

$$A_0 = 555 \text{ MBq}$$

$$t = 35 \text{ dias}$$

$$T_{1/2} = 14,3 \text{ dias}$$

Você pode usar qualquer unidade para o tempo: seg, h, dia, ano, mas esta deve ser a mesma para t e $T_{1/2}$.

Solução:

$$A = 555 \text{ MBq} \cdot e^{\frac{-0,693 \cdot 35 \text{ d}}{14,3 \text{ d}}} = 101,78 \text{ MBq}$$

4.2 Meia Vida Efetiva

Os cálculos anteriores utilizam a meia vida física do isótopo em questão. Porém, se alguém estiver estudando um processo em particular envolvendo um organismo vivo, tal como um animal, planta ou linhagem de célula, não somente a meia vida física será um fator determinante na

eliminação do composto radioativo marcado, mas a secreção natural e as taxas de excreção dos átomos do organismo também afetarão o tempo que a radioatividade ficará presente no sistema em estudo. O tempo necessário para o corpo eliminar a metade de uma dosagem de substância administrada pelo processo regular de eliminação é chamado de meia vida biológica. As características de todos os isótopos de um elemento são idênticas, assim o tempo de eliminação de um isótopo estável ou radioativo de um mesmo elemento será idêntico. O tempo necessário para a radioatividade ser reduzida a cinquenta por cento da carga original como resultado combinado da ação do decaimento radioativo e eliminação biológica é chamado de meia vida efetiva. Este processo é de grande importância no cálculo da dosimetria in vivo e resultados experimentais de volume sanguíneo e estudos de concentração de isótopos nos tecidos. A relação entre as meias vidas é a seguinte:

$$\frac{1}{T_{1/2} \text{ efetiva}} = \frac{1}{T_{1/2} \text{ física}} + \frac{1}{T_{1/2} \text{ biológica}}$$

Como exemplo, determinar a meia vida efetiva para o iodo-131.

$$\text{Meia vida Física} = 8 \text{ dias}$$

$$\text{Meia vida Biológica} = 13 \text{ dias}$$

$$\text{Meia Vida Efetiva} = \frac{1}{\left(\frac{1}{8} + \frac{1}{13}\right)}$$

$$\text{Meia vida Efetiva} = 5 \text{ dias}$$

Meia vida e Radiação Produzida por alguns Radioisótopos

EC é Captura de Elétron

| Nuclídeo | Meia Vida ($T_{1/2}$) | Energia de Emissão (MeV) | | |
|----------|----------------------------|--------------------------|----------------------|---------------|
| | | Beta (máximo) | Pósitron (máximo) | Gama |
| H-3 | 12,3 anos | 0,018 | | |
| C-14 | 5730 anos | 0,156 | | |
| Na-22 | 2,6 anos | | 1,820 | 0,511; 1,275 |
| P-32 | 14,3 dias | 1,710 | | |
| P-33 | 28,4 dias | 0,248 | | |
| S-35 | 87,4 dias | 0,167 | | |
| Ca-45 | 165 dias | 0,252 | | |
| Cr-51 | 27,7 dias | | | 0,320 |
| Co-57 | 271 dias | | | 0,122 |
| Co-60 | 5,27 anos | 1,148; 0,3 | | 1,17; 1,33 |
| Ni-63 | 100 anos | 0,067 | | |
| Zn-65 | 244 dias | | 0,327 | 0,511; 1,116 |
| Rb-86 | 18,8 dias | 1,780 | | 1,077 |
| Tc-99m | 6 horas | | | 0,141 |
| In-111 | 2,83 dias | | | 0,171; 0,245 |
| I-125 | 60,2 dias | | | 0,035 |
| I-131 | 8,04 dias | 0,806 | | 0,364 ; 0,637 |
| Cs-137 | 30,2 anos | 1,173 | | 0,662 |
| Ra-226 | 1600 anos | | 4,87 α | 1,186 |

5.Unidades de Radiação

O urânio-238 e um de seus produtos de decaimento, o tório-234, cada um contém praticamente o mesmo número de átomos por grama, aproximadamente $2,5 \times 10^{21}$. As suas meias vidas, portanto, são consideravelmente diferentes; o urânio-238 possui uma meia vida de $4,5 \times 10^9$ anos, enquanto que o tório-234 possui uma meia vida de 24,1 dias (ou $6,63 \times 10^{-2}$ anos). O tório-234, conseqüentemente, está decaindo $6,8 \times 10^{10}$ vezes mais rápido que o urânio-238. Quando são utilizados radioisótopos, as radiações são o centro de interesse. Neste contexto, $1,5 \times 10^{-7}$ gramas de tório-234 é aproximadamente equivalente em atividade a 1 grama de urânio-238. Obviamente, quando o interesse está centrado na radioatividade, o grama

não é uma unidade muito útil para definir a quantidade.

5.1 Unidades para a Atividade

No Sistema Internacional de Unidades (SI), o *becquerel* (Bq) é definido como uma transformação nuclear atômica por segundo. Antes da adoção das unidades do SI pela comunidade científica, o curie era a unidade usada para quantificar a radioatividade. Hoje em dia, a maior parte dos fornecedores comerciais fornecem as quantidades de radionuclídeos em becquerel, porém ainda tem alguns que fornecem em curie e, portanto, a familiarização com ambas as unidades é essencialmente importante. Originalmente, o curie (Ci) foi definido como a atividade de 1 g de Ra-226, porém foi redefinido mais tarde como a atividade de material radioativo em que o núcleo de

$3,7 \times 10^{10}$ átomos se desintegra por segundo (dps). Conseqüentemente, um Curie é igual a $2,2 \times 10^{12}$ desintegrações por minuto (dpm).

Os sub múltiplos do becquerel e do curie são:

| | | |
|-----------------------|---------------------------|----------|
| 1 becquerel (Bq) | =1 dps | = 27 pCi |
| 1 kilobecquerel (kBq) | =1 x 10 ³ dps | = 27 nCi |
| 1 megabecquerel (Mbq) | =1 x 10 ⁶ dps | = 27 µCi |
| 1 gigabecquerel (GBq) | =1 x 10 ⁹ dps | = 27 mCi |
| 1 terabecquerel (TBq) | =1 x 10 ¹² dps | = 27 Ci |

| | | |
|--------------------|----------------------------|----------|
| 1 milicurie (mCi) | =2.2 x 10 ⁹ dpm | = 37 MBq |
| 1 microcurie (µCi) | =2.2 x 10 ⁶ dpm | = 37 kBq |
| 1 nanocurie (nCi) | =2.2 x 10 ³ dpm | = 37 Bq |
| 1 picocurie (pCi) | =2.2 x 10 ⁰ dpm | = 37 mBq |



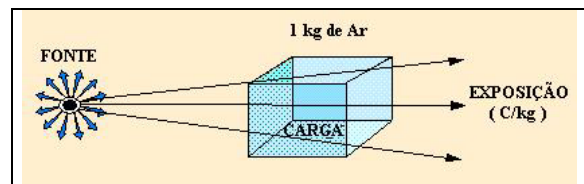
5.2 Unidades de Exposição para Radiação

O *coulomb por quilograma* (C/kg) é a unidade do SI usada para medir a ionização induzida pela radiação num volume cuja massa é unitária.

O *roentgen* (R) é a unidade antiga definida como a quantidade de radiação que produz íons portando um estatcoulomb de carga de ambos os sinais por centímetro cúbico de ar a 0^o C e 760 mm Hg. Um roentgen

corresponde a uma absorção de 87,7 ergs por grama de ar. Um C/kg é aproximadamente igual a 3876 roentgens e um roentgen é aproximadamente igual a 258 microcoulomb por quilograma (µC/kg).

O *miliroentgen* (mR) é a unidade usada para os mostradores da maioria dos medidores de radiação utilizados pelos serviços de radioproteção. O Coulomb por quilograma não é uma unidade muito empregada.



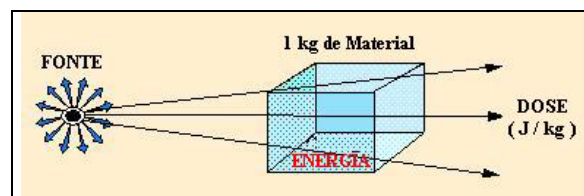
5.3 Unidades de Dose Absorvida

A unidade do SI usada para medir a energia cedida para a matéria irradiada é chamada de *gray* (Gy). É definida como a dose de radiação absorvida de um joule por quilograma.

O *RAD* (Radiação Absorvida Dose) era a unidade usada anteriormente e, portanto, é mais conhecida que o gray, e é definida como uma dose de radiação absorvida de 100 ergs/g ou 0,01 Joules/kg.

$$1 \text{ gray (Gy)} = 1 \text{ J/kg}$$

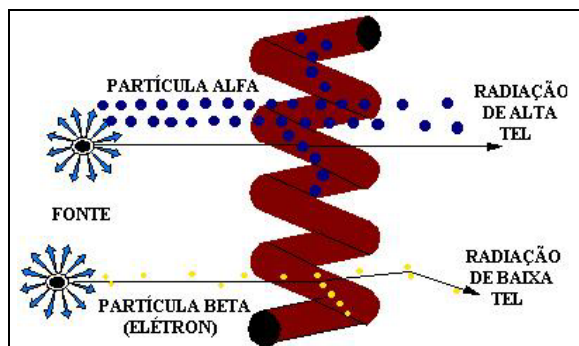
$$1 \text{ gray} = 100 \text{ rads}$$



5.4 Unidades de Eficácia Biológica Relativa (EBR)

O *sievert* (Sv) é a unidade do SI que leva em conta o efeito biológico de um tipo de emissão de radiação na dose absorvida. É definido como o produto numérico da dose absorvida em grays, multiplicado por fatores modificadores apropriados. Para a radiação beta, gama e X este fator de qualidade é igual a 1. O fator de qualidade para partículas alfa e nêutrons rápidos pode ser igual a 20 ou até maior. O sievert substitui a unidade antiga Roentgen Equivalente ao Homem ou REM (RAD x Q) onde:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Sv} &= 100 \text{ rem} \\ 1 \text{ mSv} &= 100 \text{ mrem} \\ 1 \mu\text{Sv} &= 0,1 \text{ mrem} \end{aligned}$$



EXPOSIÇÃO A RADIAÇÃO E AVALIAÇÃO DO RISCO

6. Dosimetria da Radiação

Todos os usuários de fontes de radiação devem seguir todos os procedimentos de dosimetria interna e externa conforme tenha sido estabelecido nos termos e condições da licença para uso de material radioativo.

6.1 Monitoração Individual Externa

A dosimetria termoluminescente é o método mais preciso utilizado para determinar a exposição individual a radiação externa. Os componentes funcionais de um dosímetro termoluminescente (DTL) são as pastilhas de fluoreto de lítio que possuem uma estrutura cristalina que varia quando ionizada pela radiação. Esta alteração estrutural aprisiona os elétrons livres num estado metaestável até que a pastilha seja aquecida, com a conseqüente emissão de um foco de luz. A quantidade de luz produzida é proporcional à quantidade de radiação absorvida, e pode ser medida e registrada. Os DTL são dosímetros excelentes para a medida da radiação X, gama e radiação de frenamento (bremsstrahlung) causada pelas partículas beta de alta energia, tais como o fósforo-32, mas não detectam a radiação proveniente das partículas alfa e partículas beta de baixa energia tais como o trítio, carbono-14, ou enxofre-35.

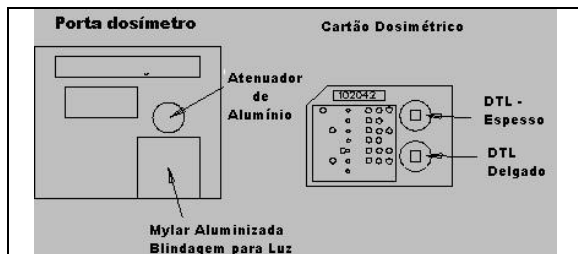
Os DTL Não detectam a exposição a radiação do H-3, C-14, S-35 ou Ca-45

Qualquer indivíduo que for trabalhar com mais de 50MBq de P-32 necessita portar um dosímetro para extremidades. Este dosímetro fornece uma avaliação precisa da exposição dos dedos e mãos. Para garantir que a informação obtida destes dispositivos seja precisa, é importante que a cobertura aluminizada do porta dosímetro não apresente furos ou buracos, e que a exposição a luz ultravioleta seja minimizada durante o procedimento de substituição do dosímetro. Como item mais importante, os dosímetros devem ser sempre portados quando exigidos e somente pela pessoa ao

qual foi disponibilizado. Evitar a contaminação do dosímetro e leituras de exposição não recebida pelo indivíduo fazendo o armazenamento do dosímetro em local distante das fontes de radiação utilizadas no laboratório quando não estiver em uso.

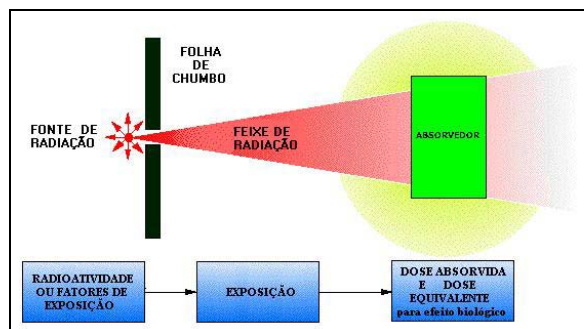


Geralmente, os dosímetros são trocados mensalmente e os resultados são enviados para o SRP para avaliação. As câmaras de ionização de bolso são usadas em áreas com altos níveis de radiação onde uma estimativa imediata da dose é necessária após períodos de exposição bastante curtos. Estes dosímetros podem ser do tipo leitura direta, ou com um sinal de alarma pré-estabelecido e deve ser utilizado juntamente com o dosímetro termoluminescente. Em condições específicas são fornecidos pelo SRP.



6.2 Exposição Externa

É possível calcular os campos de radiação teóricos emitidos pelas fontes de radiação gama, portanto, os indivíduos são capazes de determinar a blindagem necessária e as distâncias de segurança para a realização do trabalho proposto. O cálculo é baseado na quantidade de atividade, no tempo gasto no campo de radiação, na distância que o indivíduo se encontra da fonte de radiação e em uma constante que é função do fluxo de emissão do isótopo em questão.



A dose teórica para um indivíduo nas proximidades de uma fonte radioativa puntiforme é definida como:

$$X = \frac{\Gamma \cdot A \cdot t}{d^2}$$

onde

X = dose proveniente de uma fonte externa.

Γ = constante específica para a radiação gama em $(\text{mSv} \cdot \text{cm}^2) / (\text{h} \cdot \text{MBq})$ a 1 cm.

A = atividade da fonte em MBq.

t = tempo em horas gasto nas proximidades da fonte de radiação.

d = distância da fonte de radiação em centímetros.

Exemplo:

Qual é a dose de radiação para corpo inteiro que uma pessoa recebe quando trabalha com 185 MBq de Na-22 por duas horas todos os dias, durante 22 dias, a uma distância de 35 cm da fonte de radiação sem o uso de blindagem?

Dados:

$$\begin{aligned} X &= \text{dose total} \\ t &= 44 \text{ h} \\ \Gamma &= 3,24 (\text{mSv} \cdot \text{cm}^2) / (\text{h} \cdot \text{MBq}) \\ d &= 35 \text{ cm} \\ A &= 185 \text{ MBq} \end{aligned}$$

Solução:

$$X = \frac{3,24(\text{mSv} \cdot \text{cm}^2) \cdot 185 \text{ MBq} \cdot 44 \text{ h}}{(\text{h} \cdot \text{MBq}) \cdot (35 \text{ cm})^2}$$

$$X = 21,53 \text{ mSv}$$

Comparando os resultados com os limites de dose, observamos que este valor é inaceitável sob o ponto de vista de radioproteção e deve ser necessária a incorporação de blindagem para a realização do experimento com segurança. Estes cálculos devem ser realizados antes de conduzir qualquer trabalho com material radioativo para garantir que o trabalho prospectivo não será realizado num ambiente perigoso.



Dose Máxima Admissível

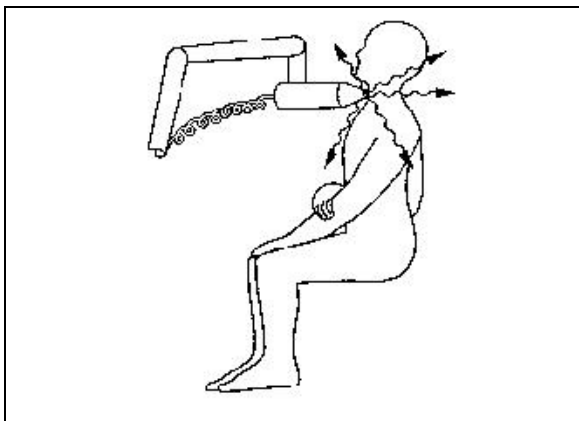
| Órgão ou Tecido | Indivíduo do Público mSv/ano | Trabalhador mSv/ano |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Corpo Inteiro | 1 | 50 |
| Pele e extremidades | 50 | 500 |
| Abdômen da mulher grávida | - | 10 (durante a gravidez) |
| Órgãos Individuais | 50 | 500 |
| Cristalino dos Olhos | 50 | 150 |

Constante específica da radiação gama (mSv · cm²)/(h · MBq)

| Nuclídeo | Γ | Nuclídeo | Γ | Nuclídeo | Γ |
|------------|------|-------------|------|--------------|------|
| Arsênio-74 | 1,19 | Cobalto-58 | 1,49 | Rádio-226 | 2,23 |
| Carbono-11 | 1,59 | Cobalto-60 | 3,57 | Rubídio-86 | 0,14 |
| Césio-134 | 2,35 | Háfnio-181 | 0,84 | Selênio-75 | 0,54 |
| Césio-137 | 0,89 | Iodo-125 | 0,19 | Sódio-22 | 3,24 |
| Cromo-51 | 0,04 | Iodo-126 | 0,68 | Tecnécio-99m | 0,19 |
| Cobalto-56 | 4,76 | Iodo-131 | 0,59 | Estanho-113 | 0,46 |
| Cobalto-57 | 0,29 | Manganês-54 | 1,27 | Zinco-65 | 0,73 |

6.3 Exposição Interna

A dosimetria interna é mais difícil de ser avaliada com precisão que as doses externas, portanto, em muitos casos a medida direta da quantidade e distribuição dos radioisótopos é praticamente impossível, especificamente se os isótopos ingeridos ou inalados forem emissores de radiação beta. No caso de emissores beta, H-3, C-14, S-35, Ca-45, P-32 e outros, os cálculos para a dose interna estão baseados nas quantidades destes isótopos que podem ser encontradas no ar exalado ou na urina. Os radioisótopos de iodo-125 e iodo-131 concentram-se na glândula tireóide e podem ser quantificados usando um monitor de cristal de iodeto de sódio calibrado.



Os indivíduos que utilizam iodo radioativo devem informar o SRP para que possa ser feito um mapeamento da tireóide a cada quinzena e após três dias de realizada experiência com compostos marcados com iodo.

As exposições causadas por outros emissores gama podem ser avaliadas matematicamente ou com o uso de um contador de corpo

inteiro. As características dos isótopos em questão, bem como o procedimento para a estimativa, são os fatores determinantes para a escolha do método adequado de monitoração individual para a exposição a radiação.

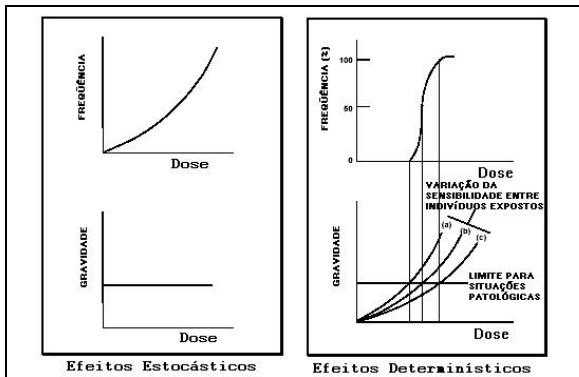


7. Efeitos Biológico das Radiações Ionizantes

A radiação é um dos agentes causadores de enfermidades mais arduamente investigada. Embora ainda tenha muito a ser aprendido sobre as interações que ocorrem entre os organismos vivos e as radiações, muito se sabe sobre os mecanismos de danos da radiação em nível molecular, celular, e sistemas de órgãos os quais também são apresentados para outros patógenos presentes no meio ambiente.

A acumulação de dados sobre o comportamento dose-resposta tem permitido aos especialistas especificar os níveis de radiação presentes no ambiente que permitem o uso das fontes de radiação sem incorrer em grau de risco maior que aquele associado com outras tecnologias, freqüentemente o grau de risco é muito menor.

O valor máximo admissível para exposição de corpo inteiro para trabalhador é 50mSv/ano, com um valor acumulado em 5 anos não excedendo a 100mSv, produzindo um valor médio anual de 20mSv.

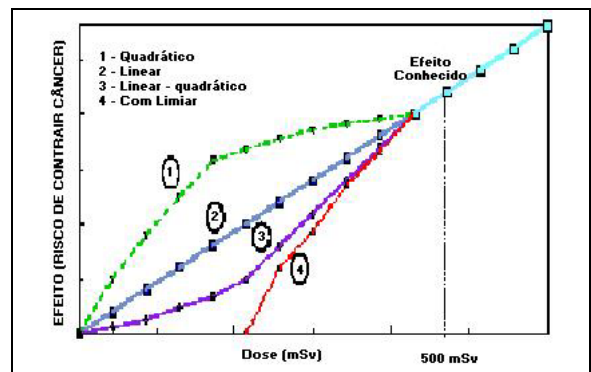


7.1 Efeitos Agudos

Efeitos determinísticos são aqueles para os quais existe uma relação causal clara entre a quantidade de exposição e o efeito observado. Uma certa dose mínima deve ser excedida antes que um efeito em particular seja observado, em cujo ponto a intensidade ou gravidade do efeito aumenta com o valor da dose. Por exemplo, uma pessoa deve consumir uma certa quantidade de álcool antes que a indicação de um comportamento de embriaguez seja evidente, após o qual o efeito do álcool dependerá da quantidade consumida.

Os efeitos determinísticos induzidos pela radiação podem ser específicos para um tecido em questão: aproximadamente 2Gy (200rad) para radiação mista nêutron e gama ou 5Gy de radiação beta ou gama produzirá catarata no cristalino dos olhos; depleção celular nas células da medula óssea ou síndrome hematopoiética após uma dose de radiação gama de aproximadamente 2Gy; a síndrome gastro intestinal resulta de doses de

10Gy (1000 rad) ou maiores; a síndrome do sistema nervoso central ocorre numa dose de 20Gy (2000 rad). Estes efeitos tendem a serem agudos em natureza, com os sintomas sendo apresentados em dias, semanas ou meses após a exposição. Por causa da dose mínima que deve ser excedida antes que um indivíduo apresente o efeito, os efeitos determinísticos são conhecidos como efeitos com limiar.



7.2 Efeitos Tardios

Os efeitos estocásticos são aqueles para os quais um aumento na dose aumenta a probabilidade de ocorrência de um efeito ao invés de sua amplitude ou gravidade. Os efeitos estocásticos ocorrem por acaso e aparecem entre as pessoas expostas bem como em indivíduos não expostos. Quando estamos considerando a radiação ionizante, os principais efeitos estocásticos são as enfermidades malignas e os efeitos genéticos. Estudos epidemiológicos indicam que estes efeitos surgem alguns anos após a exposição a radiação e não possuem limiar de dose para o seu aparecimento, o que significa dizer que até mesmo para pequenas doses existe proporcionalmente um aumento pequeno na probabilidade de ocorrência do efeito. Os seres humanos contraem câncer até mesmo sem ter recebido doses de radiação nos locais de trabalho. Portanto, a exposição aumenta a

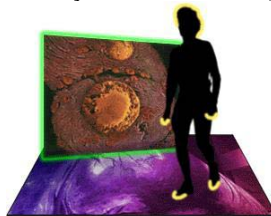
probabilidade de aparecimento de um câncer e quanto maior a exposição, maior será a probabilidade de ocorrência desta enfermidade. Diferente daquela relação causal entre o álcool e a bebedeira, se um indivíduo contrair um câncer o fator causal não pode ser determinado. Porém, existe a possibilidade de estimar a probabilidade de que um câncer foi causado por danos nos cromossomos induzidos pela radiação.

Estes efeitos tardios causados pela radiação podem ser decorrentes tanto de uma única super exposição a grandes doses ou uma superexposição contínua a pequenas doses. A discussão dos efeitos tardios, portanto, está relacionada com as exposições em longo prazo em pequenas doses.

Dados epidemiológicos sobre a carcinogênese provocada por pequenas doses de radiação são contraditórios e inconclusivos. As estimativas de risco de ocorrência de câncer são baseadas nas histórias de exposições dos primeiros mártires, sobreviventes de bombas atômicas e do grande número de indivíduos que trabalharam, e estão trabalhando com fontes de radiação. A extrapolação simples dos riscos de exposição a radiação a partir de grandes dose não refletem precisamente a incidência de efeitos tardios causados pela radiação. Estes efeitos são tão pequenos que é muito difícil separá-los daqueles efeitos estocásticos de maior incidência que resultam de outros fatores ambientais e genéticos.

As Sociedades de Câncer estimam que aproximadamente a metade de todos os cânceres é fatal. Portanto, a incidência total de cânceres estimada seria dobrada para 460 a 880 cânceres por milhão, para uma exposição de 10 mSv.

U.S. National Academy of Sciences – Relatório sobre efeitos biológicos das radiações ionizantes (BEIR) 1990.



230 a 440 mortes por milhão de exposição aguda de 10 mSv.

Aproximadamente 25% de todos os adultos contrairão câncer induzido por fatores ambientais e genéticos não associados com o trabalho relacionado com fontes de radiação. Portanto, o aumento no risco de contrair câncer por um indivíduo ocupacionalmente exposto a uma dose de radiação de 10 mSv aumentaria de 25% para 25,06%.

Admitindo-se uma dose máxima ideal de 5mSv por ano para trabalhadores e criando condições para que a dose média de trabalhadores expostos seja menor que 0,1mSv por ano, o risco de contrair efeitos causados pela radiação a longo prazo provocados pela exposição ocupacional é mínimo. Estas estimativas estão baseadas em evidências epidemiológicas atuais e ajudará o trabalhador com radiação a tomar sua decisão sobre os riscos decorrentes da exposição a radiação sob uma base sólida.

Um trabalhador que decide aceitar este risco, mínimo, fará todos os esforços para manter a exposição a radiação tão baixa quanto racionalmente alcançável – ALARA. Os usuários de fontes de radiação possuem a responsabilidade primária de proteger-se dos riscos associados com suas tarefas.

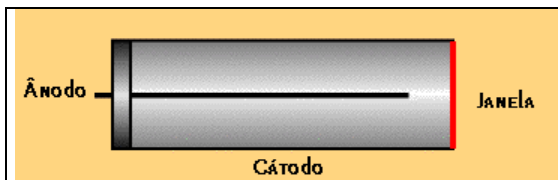
SISTEMAS DE DETECÇÃO DA RADIAÇÃO

8. Monitoração do Laboratório

Em cada uma das áreas onde são utilizados radioisótopos ou fontes de radiação deve existir equipamentos de monitoração funcionando em quantidades suficiente, capazes de detectar todos os tipos de radiação utilizados. Todas as pessoas devem estar familiarizadas com a operação correta destes instrumentos.

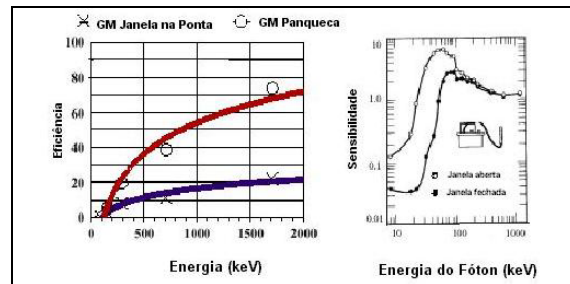
8.1 Tubo Geiger-Mueller.

O detector mais comum para radiação alfa, beta e gama é o tubo Geiger-Mueller (G-M), e é particularmente adequado para as monitorações em radioproteção. Um contador G-M é um tubo fechado contendo uma mistura de gás (He, Ne, ou Ar) com o interior sob um décimo de atmosfera de pressão, uma janela ou membrana delgada de mica ou Mylar, um fio fino como ânodo no centro do tubo isolado da parede interna do tubo, e um potencial de tensão entre o fio e a parede interna do tubo.

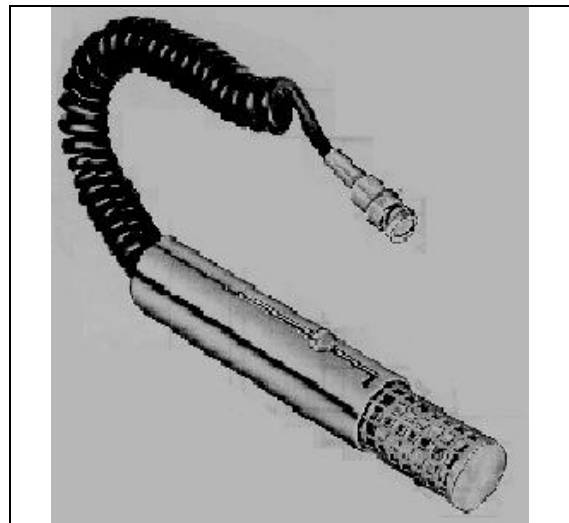


A maior parte das partículas beta que consegue entrar dentro do detector produzirá uma descarga e registrará uma contagem no medidor. Porém, dos fótons gama e raios X que incidem no contador, somente uma pequena fração irá interagir e produzir ionizações na câmara. A maior parte atravessará o detector sem causar qualquer interação e não será registrada, portanto, o contador G-M é muito mais eficiente na detecção de partículas beta que para a detecção de radiação gama ou X.

Dependendo da energia da radiação emitida, a eficiência de detecção de um contador G-M pode ser menor que 5% para radiação X e gama, mas pode ser muito maior para as partículas alfa e beta que entram no volume de contagem.



As partículas alfa e beta podem ser facilmente distinguidas dos fótons fazendo uso de capas absorvedoras.



Se um fino absorvedor ou blindagem (por exemplo, 1,3 mm de alumínio) for colocado em frente da janela, irá parar as partículas beta, mas possuirá muito pouco efeito para interromper a passagem dos fótons. Portanto, a taxa de contagem com e sem o absorvedor

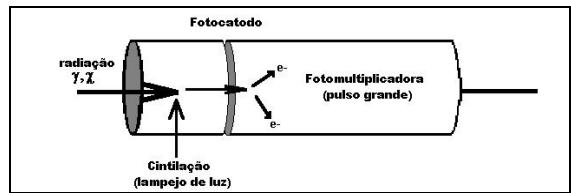
pode ser usada para fazer a distinção entre estes tipos de radiação.



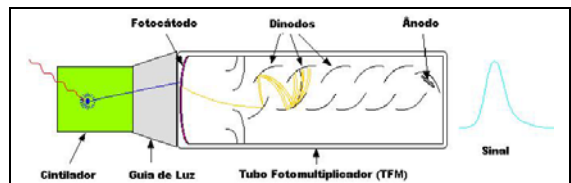
O tubo G-M é somente um contador para eventos ionizantes e seu sinal de saída não pode ser usado para fornecer informação sobre a energia e o tipo de emissão nem para a identificação do isótopo em questão.

8.2 Detector Cintilador Sólido

Os tubos G-M enchidos com gás não detectam a radiação gama e X com boa eficiência porque a maioria dos fótons passa através do gás sem causar interação. A probabilidade de detecção da radiação X e gama é aumentada se for usado um detector sólido, porém, a interação não poderá ser registrada por meio da coleção de íons negativos e positivos como no tubo G-M. Ao invés disso, um cristal cintilador sólido é utilizado para aprisionar a radiação incidente que causará a emissão de fótons.



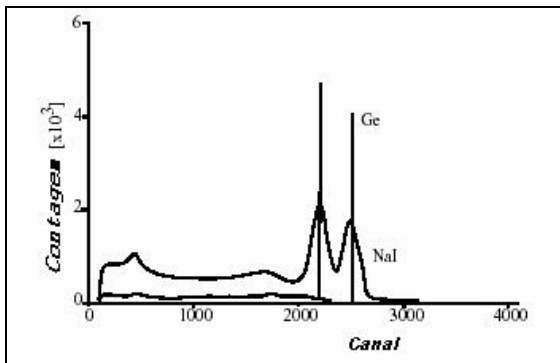
Estes fótons, espectro luminoso, incidem sobre uma superfície foto sensível num tubo fotomultiplicador, resultando na liberação de elétrons. Estes elétrons dão origem a um sinal elétrico que é contado como um evento no circuito eletrônico.



Entre os cintiladores de haletos alcalinos, os cristais de iodeto de sódio ativados com tálio, NaI(Tl), são os mais eficientes por causa do excelente rendimento luminoso associado com estes materiais. A eficiência de um cristal para a detecção de fótons de radiação gama e X aumenta com o tamanho do cristal.



Os detectores que empregam cristais sólidos também podem ser usados para discriminarem os vários intervalos de energia da radiação X e gama e, portanto, podem ser usados para quantificar e identificar amostras de isótopos desconhecidos.



Os cristais de iodeto de sódio são consideravelmente higroscópicos e devem ser protegidos de umidade. Quando exposto a umidade, o cristal degrada pelo resultado da liberação de iodo livre, que por sua vez causa uma diminuição na eficiência de contagem do sistema pela absorção da maior parte da radiação que induz fluorescência.

Um cintilador gama para baixas energias (CGBE) é um exemplo deste tipo de detector e é usado principalmente para detectar os níveis de contaminação com iodo-125 ou outros isótopos que emitem radiação gama ou radiação X de baixa energia.



Distinto dos tubos G-M, Os detectores CGBE conectados a uma unidade de leitura não são calibrados por uma fonte padrão e, portanto, qualquer leitura observada na unidade de leitura pode apresentar imprecisões. Porém, são muito úteis para uma identificação rápida de contaminações por radiação gama localizadas.

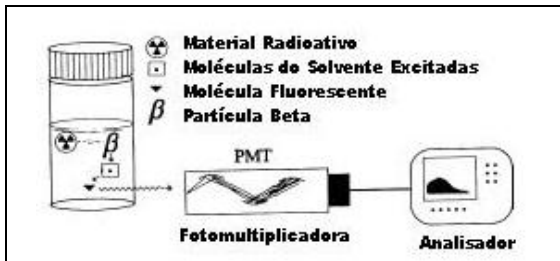
Os contadores gama, mais comumente utilizados em laboratórios de pesquisa também empregam um cintilador sólido. Quase todos os isótopos emissores gama podem ser contados por este tipo de instrumento.

A maior parte de combinações empregando detectores CGBE não é apropriada para quantificar a exposição pessoal em campos de radiação ou nas tarefas que envolvem o manuseio de rejeitos.

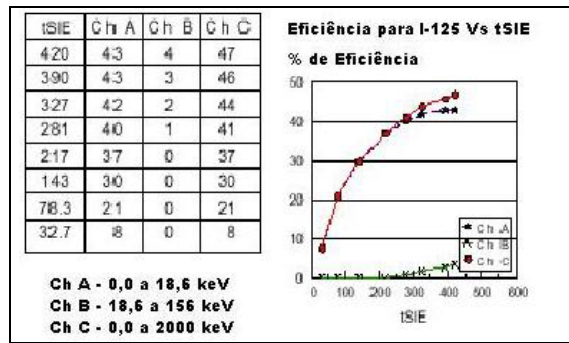
8.3 Contador Cintilador Líquido

Um sistema de detecção muito sensível, amplamente utilizado em laboratórios de pesquisa, que pode ser usado para detectar pequenas quantidades de quase todos os isótopos emissores alfa, beta ou gama é o contador cintilador líquido - CCL. Um instrumento deste tipo é usado para a contagem de amostras marcadas e teste de

esfregação de superfícies potencialmente contaminadas. O CCL é usado com frequência para quantificar amostras contendo H-3, C-14, P-32 ou S-35. Na contagem por cintilação líquida, ao invés de usar um cristal sólido como o inicializador principal de fluorescência, uma solução cintiladora ou coquetel, que consiste de um solvente, um produto químico flúor principal e, se necessário, é usado um produto como flúor secundário. A fonte radioativa ou amostra é colocada neste líquido e os fótons resultantes são coletados, multiplicados e contados.



Antes de realizar o estudo estatístico dos dados do CCL é necessário converter primeiramente as contagens por unidade de tempo (cpm) para desintegrações por unidade de tempo (dpm) ou Bq. Para esta operação é necessário primeiramente que seja determinada a eficiência de contagem das amostras. Para contagem de H-3 ou C-14, a maior parte dos sistemas já estão habilitados para fazer esta determinação. Para outros isótopos, esta conversão requer a elaboração de curvas de referência padronizadas.



FONTES DE RADIAÇÃO NO LOCAL DE TRABALHO

9. Princípios Básicos

Quatro são os princípios básicos para garantir que a exposição e a absorção de material radioativo seja minimizada. Estes são o tempo, a distância, a blindagem e o controle da contaminação.

9.1 Tempo

A dose de radiação que um indivíduo recebe é diretamente proporcional ao intervalo de tempo gasto no campo de radiação. Portanto, para minimizar as doses de radiação, é necessário garantir um tempo mínimo de trabalho quando estiver manuseando material radioativo.

Minimizar o tempo de exposição.

$$\text{Tempo} = \frac{\text{Dose}}{\text{Taxa de Dose}}$$

Se for possível pratique qualquer nova técnica ou procedimento com um alvo não radioativo. Isto é muito importante, primeiramente, porque ajudará na conscientização de qualquer dificuldade técnica que poderá ser encontrada e, portanto, evitará atrasos no manuseio; e como segunda consequência, a familiarização e a prática reduzirá a possibilidade de acidentes.

9.2 Distância

É essencial conservar a máxima distância possível entre a fonte de radiação e o trabalhador. A distância é um fator muito efetivo na redução da intensidade de radiação incidente no corpo. A relação real segue a lei do inverso do quadrado para fontes puntiformes.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(D_2)^2}{(D_1)^2} \Leftrightarrow I_2 = \frac{I_1 \cdot (D_1)^2}{(D_2)^2}$$

onde I_1 é a intensidade de radiação na distância D_1 a partir da fonte, e I_2 é a intensidade na distância D_2 .

Exemplo:

A intensidade de radiação a 2 metros de uma fonte puntiforme é $13 \mu\text{Sv/h}$ ($1,3 \text{ mR/h}$) medida com um detector GM. Qual é o campo de radiação a 50 cm?

Dados:

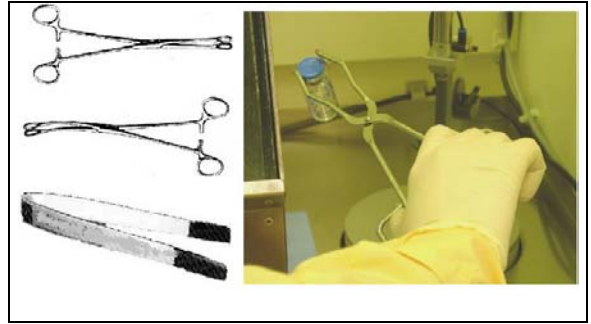
$$\begin{aligned} I_1 &= 13 \mu\text{Sv/h} \\ D_1 &= 200 \text{ cm} \\ I_2 &=? \\ D_2 &= 50 \text{ cm} \end{aligned}$$

Solução:

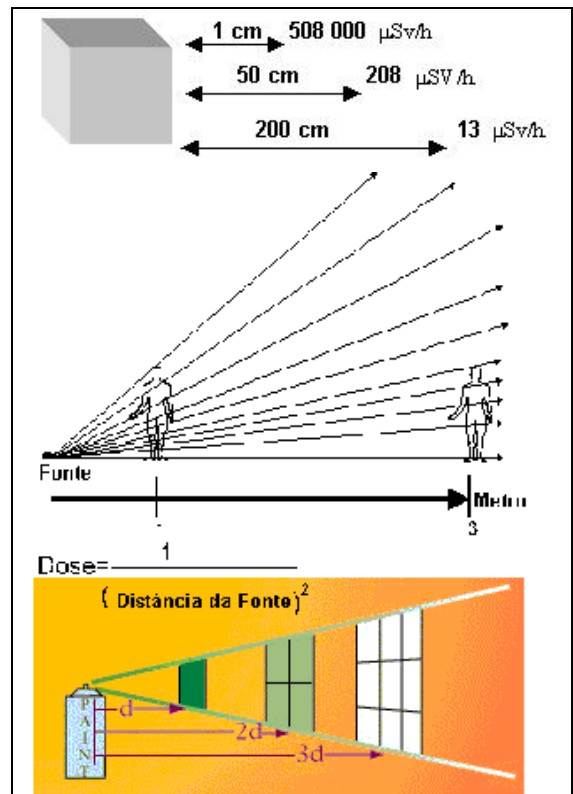
$$I_2 = \frac{I_1 \cdot (D_1)^2}{(D_2)^2} = \frac{13 \mu\text{Sv/h} \cdot (200 \text{ cm})^2}{(50 \text{ cm})^2}$$

$$I_2 = 208 \mu\text{Sv/h} \quad (20,8 \text{ mR/h})$$

Use pinças e garras para minimizar a exposição das mãos à radiação.



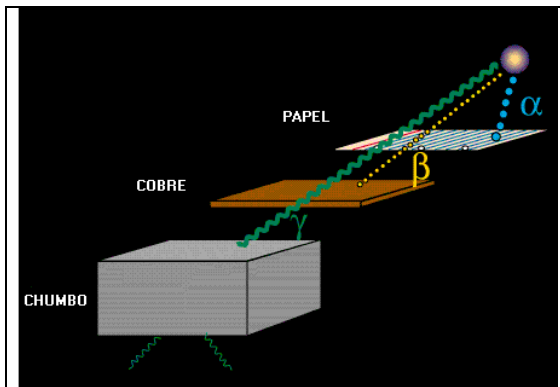
O efeito da distância sobre a intensidade de radiação é ilustrado a seguir. Quando a distância da fonte torna-se menor, a intensidade torna-se progressivamente maior.



9.3 Blindagem

O máximo campo de radiação admissível para qualquer área de trabalho é $25 \mu\text{Sv/h}$ ($2,5 \text{ mR/h}$) para uma carga de trabalho anual de 2000 horas. Em muitos casos, não será possível manter uma certa

distância da fonte de radiação de tal modo que a taxa de dose seja mantida o mais baixo possível, assim será necessário o uso de blindagem para a radiação. Dependendo do tipo e da energia da radiação, são recomendados diferentes tipos de materiais para serem empregados como blindagem.

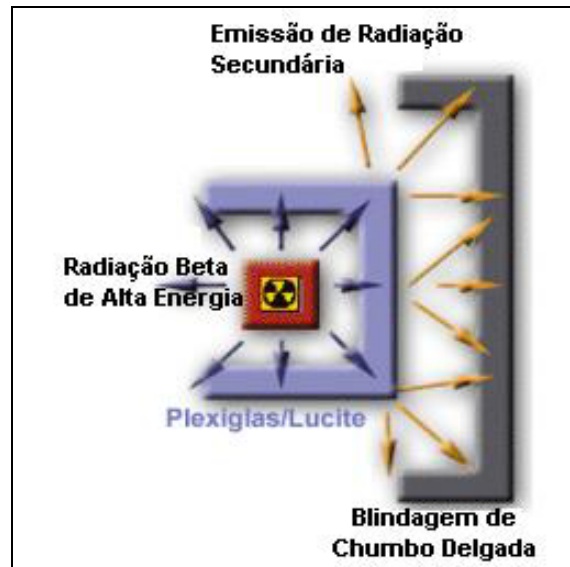


O trício (H-3) produz radiação beta muito pouco penetrante com uma energia máxima de 18 keV. Estes elétrons atravessam apenas pequenas distâncias na matéria. O alcance destas partículas no ar é de aproximadamente 4,7 mm e um frasco de vidro contendo solução com este isótopo ou os tubos de ensaio apresentam espessura suficiente para blindar completamente estas radiações.

O Carbono-14, Enxofre-35 e Cálcio-45 emitem radiação beta com energias máximas de 156, 167 e 252 keV, respectivamente. Se forem manuseadas quantidades de quilobecquerel (kBq) os recipientes de vidro proporcionarão blindagem adequada. Se forem manuseadas dezenas de megabecquerel (MBq), recomenda-se o uso de 3 milímetros de espessura em plexiglass, lucite, ou vidro recomendado como blindagem.

O Fósforo-32 é um emissor beta de alta energia (1,71MeV), conseqüentemente a maior parte das operações exige o uso de blindagem. A escolha de blindagem recai sobre o material plexiglass com espessuras da ordem de 1,2 centímetros. O chumbo não é o material recomendado para blindar este tipo de radiação, pois pode gerar a radiação de frenamento (bremsstrahlung). A energia destes raios X secundários aumenta com o aumento do número atômico do material alvo e com a energia da partícula beta. Por esta razão, quando for blindar emissor beta de alta

energia, é recomendado o uso de um material tal como plástico ou vidro ao invés de chumbo ou aço, para minimizar a exposição a radiação X.

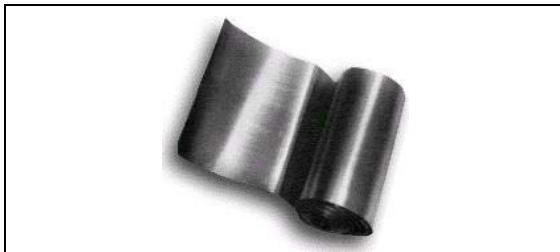


O Fósforo-33 é um emissor beta de baixa energia (0,248 MeV). Se quantidades da ordem de quilobecquerel (kBq) estão sendo manuseadas, os recipientes de vidro proporcionam blindagem adequada para as soluções. Se forem manuseadas dezenas de megabecquerel (MBq), recomenda-se o uso de 3 milímetros de espessura em plexiglass, lucite, ou vidro para blindagem.

O Iodo-125 produz fótons de pouco poder de penetração com uma energia máxima de 35 keV e podem ser facilmente blindados com o uso de folhas de chumbo de 1 mm de espessura. Uma alternativa para as folhas de chumbo são os vidros ou plásticos que contêm uma certa concentração em chumbo que é equivalente à espessura apropriada de chumbo. A vantagem deste material é que ele permite a visualização do material sendo ensaiado durante todo o tempo. Quando estão sendo realizados processos envolvendo o uso de iodo é aconselhável blindar a coluna de separação.

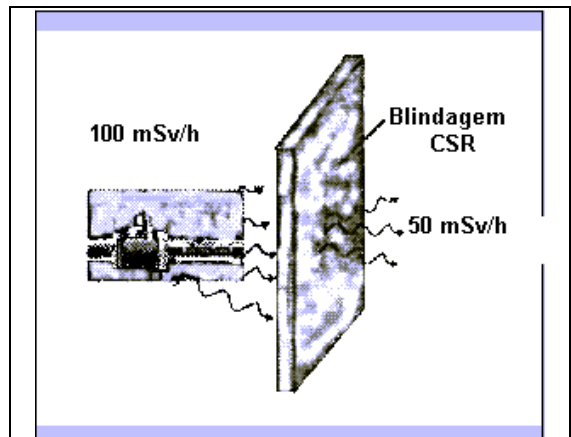


O Sódio-22, Cromo-51, Cobalto-57, Rubídio-86, Estanho-113 e Césio-137 emitem tanto radiação beta como gama, e sempre são necessárias blindagens quando estes isótopos estão sendo utilizados. Uma boa proteção é oferecida pelo uso das folhas de chumbo, porém é necessário o uso de um medidor de radiação para verificar a eficácia da blindagem.



Camada Semi Redutora - CSR (HVL) e Camada Décimo Redutora - CDR (TVL)

A espessura de qualquer absorvedor que reduz a intensidade de um campo de radiação a metade de seu valor inicial é definida como camada semi-redutora. Se a absorvedor reduzir a intensidade a um décimo de seu valor inicial é definido como camada décimo redutora. Esta informação é usada para calcular os campos de radiação teóricos.



A seguir são apresentadas algumas espessuras de blindagem para os isótopos mais comuns.

| Nuclídeo | Espessura de Blindagem Mínima |
|----------|---|
| H-3 | Não é necessária. O próprio frasco ou tubo absorve a radiação. |
| C-14 | Atividade até 370 MBq, não é necessária. Acima, 3mm plexiglass. |
| Na-22 | 10 cm de chumbo. |
| P-32 | 1,2 cm de plexiglass. |
| P-33 | Atividade até 370 MBq, não é necessária. Acima, 3mm plexiglass. |
| S-35 | Atividade até 370 MBq, não é necessária. Acima, 3mm plexiglass. |
| Ca-45 | Atividade até 370 MBq, não é necessária. Acima, 3mm plexiglass. |
| Cr-51 | 2,0 cm de chumbo. |
| Co-57 | 1,7 mm de chumbo. |
| Co-60 | 10 cm de chumbo. |
| Ni-63 | Não é necessário. Captura de elétron. |
| Zn-65 | 10 cm de chumbo. |
| Rb-86 | 10 cm de chumbo. |
| Tc-99m | 1,2 cm de chumbo. |
| In-111 | 2,5 cm de chumbo. |
| I-125 | 0,4 mm de chumbo. |
| I-131 | 6 cm de chumbo. |

9.4 Controle da Contaminação

Após o uso de radioisótopos, a monitoração de todas as superfícies de trabalho que possam ter sido contaminadas durante o manuseio dos radioisótopos é mandatória. Os métodos usados para verificar a contaminação radioativa nos laboratórios são

determinados pelas características físicas da radiação em questão.



Durante as verificações de concordância a principal regra a ser seguida pelo supervisor de radioproteção é verificar os registros dos níveis de contaminação. Os técnicos de radioproteção também realizam seus testes de esfregação para confirmar se o laboratório não apresenta níveis de contaminação.



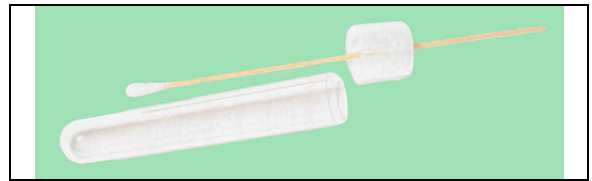
- a. **Método teste de esfregação:** as partículas beta de baixa energia tais como aquelas emitidas pelo trício, carbono-14, ou enxofre-35 não conseguem penetrar a janela do detector G-M com boa eficiência. Estes emissores são detectados precariamente ou até mesmo não são detectados com os medidores portáteis. Assim, qualquer tipo de emissão α , β ou γ , resultante da contaminação em valores que acercam-se dos níveis estabelecidos como limite e que não possam ser detectados por um medidor portátil deverá ser avaliado por um método que indique a sua presença. Por esta razão, devem ser realizados testes de esfregação quando fizer uso de radioisótopos. Para realizar este teste, deve ser umedecido um disco de papel absorvedor com etanol, esfregado sobre a superfície em questão e

então contado num contador cintilador líquido ou um contador gama de poço, o mais adequado. Se os resultados indicarem que a contaminação excede a 100 contagens por minuto acima daquela contagem da radiação de fundo, a superfície deve ser descontaminada e reavaliada. Os registros dos resultados numéricos de todos os testes de esfregação devem ser conservados, ver Apêndice-II.

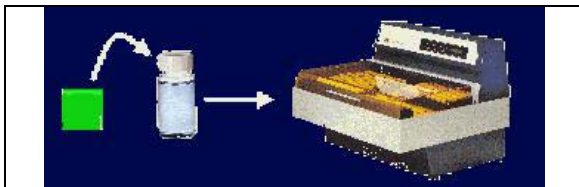
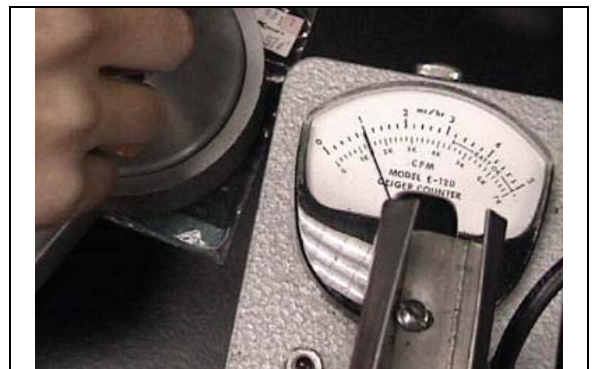
Os testes de esfregação possuem caráter mandatório após o uso de material radioativo. Descontaminar qualquer superfície que exceder a 100 cpm acima do valor da radiação de fundo. Os resultados numéricos devem ser registrados.



- b. **Método de leitura direta:** para suplementar o teste de esfregação, podem ser utilizados os detectores portáteis para as radiações beta de alta energia, radiação X e radiação gama. Isto é feito movimentando o detector a aproximadamente dois centímetros acima da superfície a ser monitorada. De maneira a obter um tempo de resposta suficiente para o detector, este é movido lentamente sobre a área em pequenas frações. Alguns instrumentos possuem uma blindagem que é utilizada para diferenciar a radiação beta da radiação gama na avaliação da contaminação. A blindagem deve ser aberta ou removida e o instrumento deve ser posicionado no intervalo de maior sensibilidade para a medida.



c. Método combinado: uma combinação do método de leitura direta com o teste de esfregação proporcionará a melhor margem de segurança. O teste de esfregação é útil para a detecção de contaminação removível, porém não indica qualquer sinal de uma contaminação fixa ou impregnada. A baixa eficiência de contagem dos contadores G-M resulta na subestimativa do nível de contaminação, especialmente se os níveis são baixos, ou se o contaminante é um emissor beta de baixa energia.



A contaminação acidental de superfícies de trabalho é uma ocorrência comum em laboratórios. Portanto, é imperativo para a segurança de todas as pessoas, que os testes de esfregação sejam realizados logo após cada uso de material radioativo. É boa prática incluir também a monitoração das superfícies e equipamentos não envolvidos com o uso dos radioisótopos como parte do programa de inspeção pelo teste de esfregação.



10.2 Uso

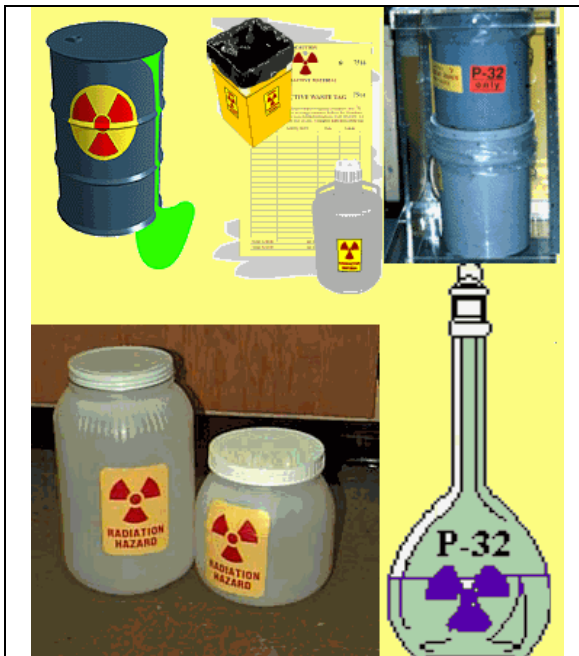
É necessário o registro do nome do usuário, a data e a atividade de cada uma das alíquotas removidas do frasco de solução padrão. É aconselhável ter uma folha de controle para cada frasco com solução padrão no local de armazenamento de radioisótopos.

10. Conservação dos Registros

Os procedimentos exigem que cada laboratório mantenha um registro completo de todas as fontes de radiação, ver Apêndice III.

10.1 Material adquirido

A aquisição de radioisótopos é regulamentada por normas que exigem o licenciamento de cientistas antes que estes venham a obter qualquer substância radioativa. Deve ser mantido um registro atualizado de todas as compras, transferências ou doações de materiais radioativos.



10.3 Disposição

Todos os rejeitos existentes no laboratório ou em áreas de Armazenamento para decaimento fazem parte do inventário radioativo permanente. As atividades dos radioisótopos que estão dispostos nos recipientes para rejeitos sólidos, nos sistemas de drenagem, nas capelas ou quarto de rejeito para decaimento devem estar documentadas conforme descrito na seção 14.3.



11. Licença para Uso de Radioisótopos

Todo laboratório deve possuir uma licença para uso de material radioativo emitida pela CNEN. Esta licença permite que sob a supervisão de um pesquisador credenciado pela autoridade regulatória os trabalhadores possam exercer suas atividades com material radioativo de acordo com o propósito definido na autorização para o local de trabalho. Uma condição básica, para o exercício das atividades pelos trabalhadores e pesquisadores, é que tenham recebido treinamento específico abordando os riscos apresentados pelas radiações ionizantes. As condições apresentadas na licença, Apêndice A, e qualquer solicitação de alteração para a licença devem ser realizadas de acordo com as exigências legais estabelecidas pela autoridade regulatória. O descumprimento das condições estabelecidas é considerado crime e passível de penalização. O processo para obtenção, modificação ou cancelamento de uma licença para obtenção de radioisótopos foi abordado anteriormente neste manual.

10.4 Controle da contaminação

Como descrito na seção 9.4, é necessário que a monitoração da contaminação seja realizada no final de cada dia de trabalho onde o material radioativo tenha sido utilizado. Os resultados desta verificação, mesmo quando não tenha sido encontrada contaminação, devem ser registrados e guardados por um período de três anos. É aconselhável fazer um croqui do laboratório demarcando as áreas onde a monitoração foi realizada.



11.1 Aquisição de Radioisótopos

Somente usuários autorizados podem receber material radioativo. A licença para autorização indica claramente quais são os isótopos que podem ser adquiridos, quanta atividade pode ser adquirida de cada isótopo, quanto pode ser armazenado e quanto pode ser manuseado de cada vez. Também define quais são os usos permitidos para cada isótopo.

Posteriormente a entrega ao usuário

Requisição de Material: mdr Data: 15 Out 09

Sede Laboratório: Uso Unidade: 101 04-030 AR

Nome do Material: Na²²SO₄ Quantidade: 10 Unidade: mg

Nome do Usuário: MDR Data de Entrega: 15/10/09

Local de Entrega: 101 04-030 Hora de Entrega: 15:37

Nome do Recebente: MDR Assinatura: MDR

Assinatura do Responsável: MDR

| Quantidade | Atividade | Atividade | Atividade |
|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 42 | 10 | 313 |
| 2 | 10 | 11 | 20 |
| 3 | 8 | 12 | 7 |
| 4 | 187 | | |
| 5 | 21 | | |
| 6 | 24 | | |
| 7 | 11 | | |
| 8 | 110 | | |
| 9 | 22 | | |

Procedimento: 16 Oct 09

Assinatura do Responsável: MDR

10 12B



Em cada laboratório, o usuário credenciado é responsável pela solicitação e recebimento do material radioativo. A aquisição é acertada com cada fornecedor depois de estabelecido os acordos financeiros. No recebimento do material radioativo, o

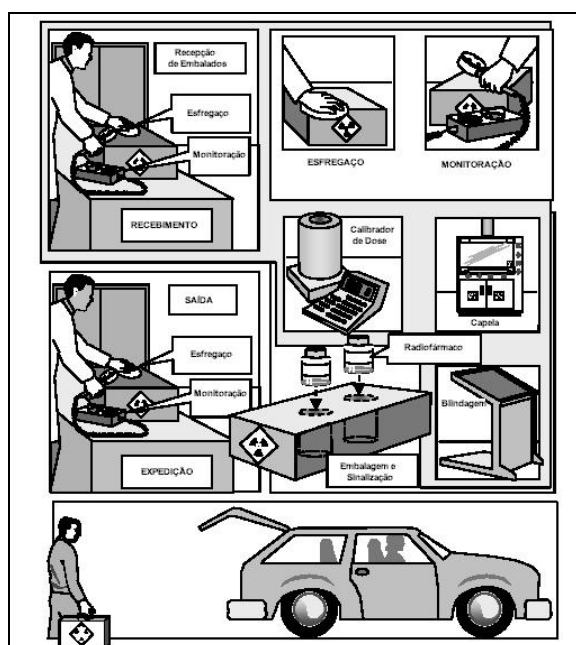
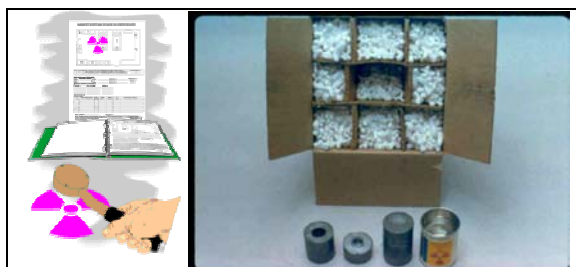
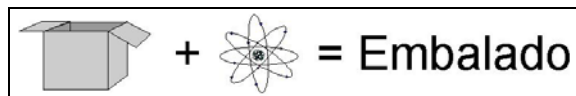
Supervisor de Radioproteção deve ser informado pelos canais de informação convencionais.

Informar o supervisor de radioproteção quando receber qualquer embalado contendo material radioativo.

11.2 Recebimento do Material Radioativo

Quando chegar um pacote contendo material radioativo no laboratório é necessário que o mesmo seja monitorado cuidadosamente. O embalado interno pode estar contaminado com material radioativo sob forma dispersa. A contaminação pode ter sido causada por manuseio inadequado no local de origem, manuseio errado na recepção, ou vazamento de material causado pelo transporte do material em aeronave não pressurizada. Portanto, é necessário estabelecer um procedimento regular quando do recebimento de material radioativo, usando as seguintes orientações:

- Usar luvas descartáveis e um avental enquanto inspeciona o embalado.
- Usar proteção para os olhos se o embalado conter P-32 ou I-125.
- Verificar os rótulos e o índice de transporte, IT, ver Apêndice V.
- Colocar o embalado numa capela.
- Realizar o teste de esfregação para verificar se existe contaminação em seu exterior.
- Remover o lacre do embalado e abrir a embalagem externa.
- Verificar se a folha de informações do material coincide com o conteúdo do embalado. Verificar se atividade, isótopo e forma química são aqueles encomendados.
- Medir o nível de radiação no recipiente interno e blindá-lo se necessário.
- Verificar quanto a danos, rompimento de lacre, perda de líquido, alteração de cor, etc.
- Fazer esfregação na embalagem interna.
- Remover ou destruir os símbolos de radiação existente nos rótulos do embalado.
- Se o embalado esta livre de contaminação, disponha-o como rejeito convencional.
- Notificar o supervisor do laboratório e o supervisor de radioproteção sobre qualquer irregularidade.
- Recolher os registros de compra.
- Se o pedido de compra estiver em ordem, repasse os dados para o supervisor de radioproteção.

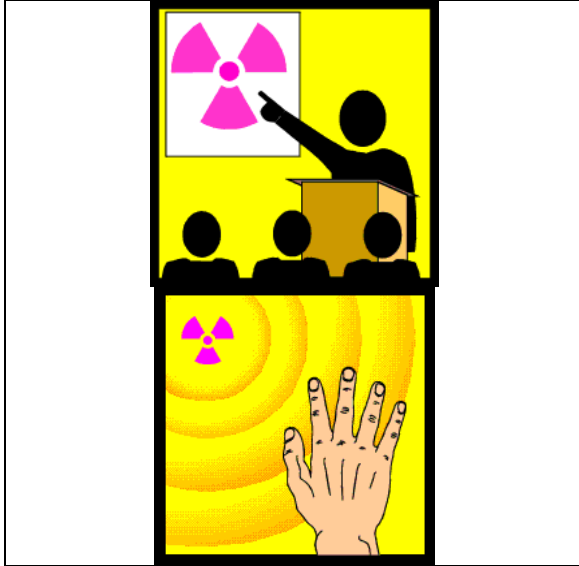


12. Segurança no Ambiente de Trabalho

12.1 Localizações

Os materiais radioativos podem ser utilizados somente em locais licenciados. Áreas de muito movimento nos locais de trabalho devem ser evitadas. Quando os radioisótopos estiverem sendo utilizados, todas as pessoas na área de radiação devem ser informadas sobre as precauções a serem tomadas para garantir que os campos de radiação nos locais de trabalho sejam

aqueles recomendados pela autoridade regulatória, de preferência da ordem de $2,5 \mu\text{Sv/h}$ ($0,25 \text{ mR/h}$), em qualquer direção da fonte de radiação.



Sinalize todo material usado para o trabalho com material radioativo. Os sinais de aviso são essenciais, uma vez que os visitantes, pessoal de limpeza, pessoal de emergência ou operadores de outras instalações podem por sua vez ser desconhecedores da presença de material radioativo nestes locais. Óculos de proteção, pinças, e outros equipamentos utilizados para o manuseio de fontes não seladas devem ser mantidos segregados e sinalizados para evitar o uso com materiais não radioativos. Os símbolos e rótulos devem ser removidos quando o equipamento apresentar-se livre de contaminação radioativa e quando não for mais necessário para o uso com material radioativo.



As superfícies de trabalho necessitam ser cobertas com um material absorvedor para evitar a contaminação radioativa. Algumas opções são:

- Papel plastificado absorvente.
- Bandeja forrada com papel absorvente.
- Um prato de vidro.



Quando ocorrer um vazamento poderá ser facilmente contido e limpo, ao invés de remover e desfazer da bancada contaminada.

12.2 Capelas

Se houver a possibilidade de produzir radioatividade no ar do ambiente, aerossóis, poeira, vapores, etc., o trabalho deve ser realizado numa capela forrada com material absorvente. A capela deve estar sinalizada com símbolos de aviso de maneira visível. O fluxo de ar em cada capela deve ser verificado pelo menos uma vez ao ano quanto aos critérios de operação.





Se a capela não estiver operando corretamente realizar um teste de esfregaço e remover todos os materiais que oferecem risco para que a mesma possa ser submetida a manutenção. O supervisor de radioproteção deve liberar a capela para manutenção, nenhum trabalhador deve realizar manutenção sem a autorização do supervisor de radioproteção.

O iodo é um isótopo extremamente volátil e os processos envolvendo a iodação necessitam ser realizados em capela com ventilação.



12.3 Pias

Se for possível, somente uma pia deve ser usada para a limpeza de materiais de laboratório contaminados com material radioativo e a diluição para disposição dos rejeitos radioativos aquosos. As pias devem ser identificadas e sinalizadas com os avisos de radiação que devem ser substituídos assim que desbotarem.



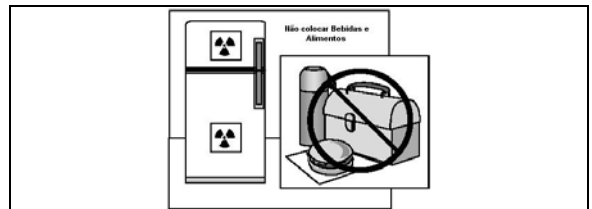
12.4 Refrigeradores

Armazene as fontes abertas num refrigerador sinalizado com o símbolo de material radioativo.

Rotineiramente o refrigerador deve ser descongelado, limpo e verificado quanto a contaminação radioativa. Assegurar que todas as amostras contendo material radioativo estejam sinalizadas com o nome do usuário, a data, o isótopo e a atividade.



Alimentos ou bebidas não devem ser armazenados nos refrigeradores de laboratório.



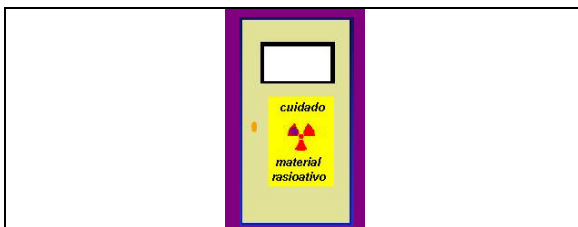
12.5 Fontes Radioativas

De modo a minimizar a degradação dos compostos marcados, freqüentemente é boa prática alíquotar as soluções padrões em volumes menores, as quais são então blindadas e armazenadas. Isto diminui o número de ciclos de degelo das soluções padrões que podem causar a degradação de seu composto químico marcado com o nuclídeo.



12.6 Colocação de Símbolos e Rótulos

Devem ser colocados cartazes com os dizeres "Cuidado Área de Radiação" e "Em Casos de Emergência Chame" nas entradas de cada área ou laboratório em que existe o risco de estar exposto a radiação. Todas as áreas de armazenamento, locais que apresentam contaminação, locais para decaimento de material radioativo, etc., devem ser sinalizados com cartazes com os dizeres "Cuidado Material Radioativo". Todas as salas devem apresentar mostradores indicando os seguintes dizeres "Não Coma, Não Beba e Não Fume" e as "Instruções para Trabalhos com Radioisótopos". Estes painéis e rótulos podem ser obtidos com o supervisor de radioproteção.



12.7 Variedades

Devem ser fornecidos cabides com ganchos dentro do laboratório, próximos das saídas para encorajar aos trabalhadores a deixarem seus aventais nestes cabides antes de saírem das áreas de trabalho. Em nenhuma circunstância devem ser preparadas comidas ou bebidas nos laboratórios.

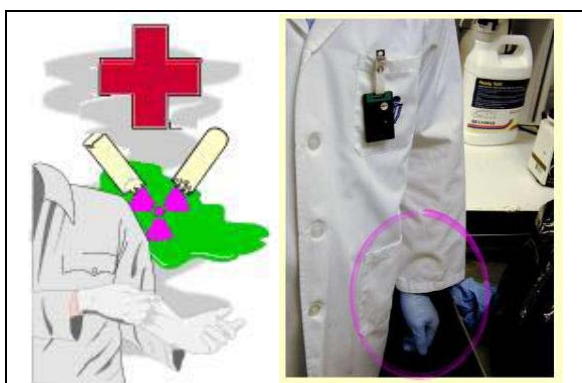
13. Equipamento de Proteção Individual

O principal objetivo do programa de radioproteção é garantir que os materiais radioativos estão sendo utilizados de maneira segura e que as exposições a radiação estão sendo minimizadas. Os indivíduos que estão utilizando radioisótopos podem auxiliar neste objetivo simplesmente garantindo que cada um e todo o tempo em que estão manuseando as fontes de radiação estão utilizando equipamentos de proteção individual. Além dos riscos oferecidos pela radiação, o uso de equipamento de proteção individual é um item necessário por causa dos riscos biológicos, químicos, físicos e ergonômicos presentes nas áreas de trabalho.



- a. **Luvas:** o uso de luvas descartáveis é mandatório quando trabalhar com fontes radioativas abertas. As luvas devem ser verificadas, freqüentemente, durante um

experimento de modo que possa ser detectada qualquer perfuração. As luvas descartáveis são propensas de apresentarem falhas nas pontas dos dedos principalmente se usadas com unhas compridas. As luvas descartáveis nunca devem ser usadas fora do laboratório. Para processos de iodação, é recomendado que no mínimo dois pares de luvas sejam utilizados, com o par externo sendo substituído frequentemente durante a realização do procedimento.



b. Avental para Laboratório

Os aventais são projetados para oferecer proteção contra os respingos para os usuários e o seu uso é mandatório quando estiver trabalhando com materiais radioativos. De modo que funcione adequadamente, o avental deve estar abotoado em toda a sua extensão, com as mangas estendidas possibilitando a sua união com as luvas. O avental não deve ser utilizado fora do laboratório e nunca deve ser usado em áreas onde são consumidos alimentos.



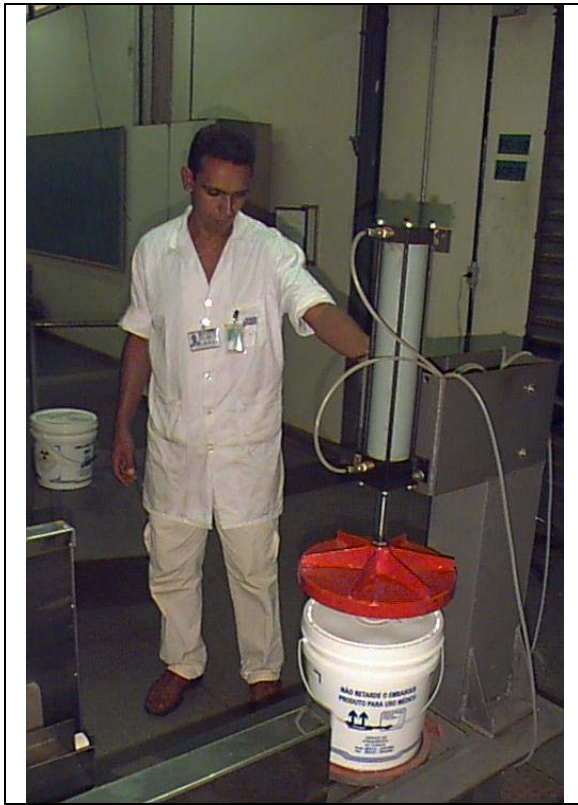
c. Roupas

É recomendado que todo pessoal trabalhando nos laboratórios utilize calça comprida. O uso de calça comprida fornecerá proteção para a parte inferior das pernas. Não devem ser utilizadas jóias, especialmente anéis, pulseiras, relógios, brincos para evitar a contaminação. Se ocorrer a contaminação destes objetos, a descontaminação pode ser difícil e deste modo pode ser necessário o descarte do objeto como material contaminado.



d. Sapatos

Usar sapatos que cubram os pés por completo em todas as áreas onde são manuseados materiais radioativos. Sandálias, chinelos, tamancos, etc. não oferecem proteção adequada no caso de um vazamento de material radioativo, também não oferecem proteção para o caso de queda de objetos sobre os pés. São recomendados sapatos de proteção aprovados pelo serviço de segurança.



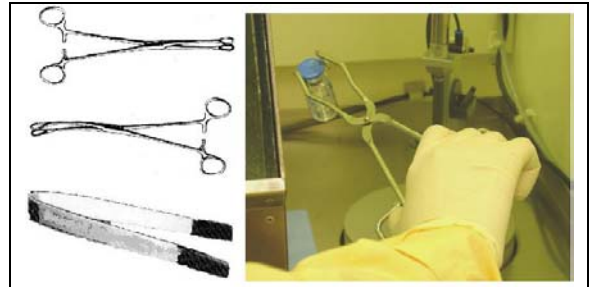
e. Óculos

Uma quantidade de 37 kBq (1 μ Ci) de fósforo-32 dirigido para os olhos causará uma taxa de dose de 20 mSv/cm²/h (2000 mrem/cm²/h). Os óculos de segurança, máscaras ou proteção facial devem ser utilizados quando existir a possibilidade de respingo deste material nos olhos. Também é boa prática utilizar óculos com blindagem quando trabalhar com solução padrão contendo emissores beta de alta energia de modo a reduzir a dose de radiação externa para os olhos.



f. Dispositivos para Manuseio a Distância

Garras e pinças devem ser usadas quando estiver manuseando frasco contendo solução padrão ou qualquer fonte que produza um campo de radiação significativo.



g. Outros Dispositivos

Em muitas situações é preferível blindar a fonte de radiação ao invés de dotar o indivíduo com proteção individual. Porém, existe ocasiões onde a redução do campo de radiação abaixo do limite de 25 μ Sv/h não pode ser obtida. Nestas situações, aventais de chumbo que fornecem proteção para o corpo inteiro devem ser usados. O equipamento deve ser fornecido pelo supervisor de radioproteção e deve ser usado nas operações de transporte de fontes de grande atividade.



GERENCIAMENTO DOS REJEITOS RADIOATIVOS

14. Procedimentos para Disposição

A verdadeira natureza das pesquisas científicas resulta na geração de um rejeito radioativo de forma variada e nova. Se o tipo de rejeito que está sendo gerado não se enquadra no seguinte critério de classificação, ou se existir qualquer dúvida sobre o correto descarte para um certo material, procure informações com o supervisor de radioproteção antes de proceder com o descarte.

O procedimento para disposição de rejeitos radioativos deve ser aprovado pelo serviço de radioproteção. Com relação ao procedimento de disposição, os limites para descarte de rejeitos são de aplicação universal em todas as áreas de pesquisa.

Diferentemente dos outros materiais perigosos, os átomos radioativos são invulneráveis à degradação por processos externos químicos e físicos. A diluição de radioelementos no ar, lâminas de água ou corpos aquáticos, simplesmente os movimentam de um local para outro. O único mecanismo pelo qual os radioisótopos podem ser eliminados do ambiente é pelo decaimento radioativo. Portanto, para minimizar o impacto ambiental causado pela disposição de material radioativo, todos os usuários de materiais radioativos devem seguir rigorosamente as orientações quanto ao gerenciamento correto dos rejeitos radioativos.



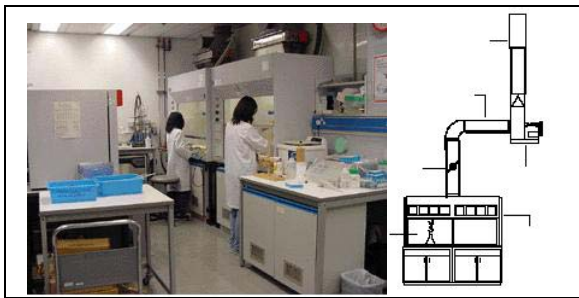
Estas orientações são estabelecidas de acordo com as normas específicas e são elaboradas pelos serviços licenciados e exigem uma contabilidade detalhada de todos os radioisótopos descartados. Cada radioisótopo possui um grau de risco característico às pessoas e ao meio ambiente. Por exemplo, o iodo-125 possui um maior potencial de risco para a tireóide que a ingestão de atividade equivalente para o trício. Por esta razão cada radionuclídeo possui limite para disposição diferenciado em função do seu grau de risco. Estes limites são definidos como quantidades fixadas (QF) e variam de 37 kBq (1 μ Ci) a 37000 kBq (1mCi), ver tabela-6.

Todo rejeito radioativo é considerado parte do inventário de radioisótopos, conseqüentemente é necessário conservar um registro permanente, Apêndice II, de cada ocasião quando o material radioativo é colocado para decaimento, ou diluído nos canais de drenagem, ou exaurido pelas tubulações das capelas, ou encaminhado para incineração ou descartado para uma fossa. Estes registros devem ser completados e um resumo da atividade descartada deve ser encaminhado para o supervisor de radioproteção em valores anuais. Esta informação é reproduzida e informada para a CNEN conforme estabelece as condições aplicadas na licença.



14.1 Gases e Aerossóis

Os procedimentos para os quais existe um potencial para emitir gases, aerossóis ou poeira radioativa devem ser realizados numa capela com exaustão forrada com material absorvente. Para os materiais radioativos que podem ser descartados para a atmosfera via a chaminé da capela, o limite para descarte de gases é 0,001 das QF por metro cúbico de ar no ponto de descarga, média durante um período de uma semana. Estas quantidades devem ser obedecidas por todas as unidades de pesquisa.



14.2 Líquidos

Os rejeitos líquidos são classificados em dois grupos:

a. Aquosos

Se for possível, os rejeitos aquosos devem ser descartados em tanques selados até que todo o radioisótopo tenha decaído.



Para grandes volumes, ou para rejeitos líquidos contendo isótopos de meia vida longa, a disposição das soluções aquosas via a rede de serviço sanitário pode ser permitida. Para estes casos, será necessário obedecer o limite de descarte para líquidos, que é inferior a 0,01 da QF por litro de água. É essencial manter um fluxo de água contínuo por várias horas após realizar o critério de diluição, garantindo assim que nenhum rejeito radioativo permaneça na rede de esgoto do edifício. Este procedimento deve ser seguido por todos os laboratórios de pesquisa.



b. Orgânico

Todos os rejeitos contendo solventes orgânicos, incluindo todas as soluções de coquetel contendo líquido cintilador, bem como os coquetéis biodegradáveis, contendo ou não radioatividade, tem que ser recolhidos em frascos de plástico de 5 litros aprovados para o recolhimento de solventes de acordo com especificação da unidade de processamento se rejeitos químicos.



O limite para descarte de líquidos de 0,01 da QF por litro de solvente deve ser obedecido. Um rótulo anexado ao recipiente deve ser preenchido, e o recipiente colocado numa área própria para armazenamento.

Exemplo:

Qual é a atividade máxima de carbono-14 que deve ser colocada num recipiente para coleta de solvente orgânico para disposição como rejeito?

Dados:

Quantidade Fixada (QF) = 3,7 MBq
Limite para descarte (LD) = 0,01 QF / L
Volume = 5 litros

Solução:

Fator de diluição (FD) = QF x LD
FD = 3,7 MBq x 0,01 QF / L = 37 kBq / L
Atividade máxima (AM) = FD x Volume
AM = 37 kBq / L x 5 L / recipiente
= 185 kBq / recipiente

14.3 Sólidos

A concentração máxima de radioatividade em rejeitos sólidos deve ser menor ou igual a 0,1 da QF por quilograma de material. Além disso, todo rejeito sólido encaminhado para descarte deve emitir menos que 2,5 μSv/h (0,25 mR/h) na superfície do saco ou do recipiente que o contenha.



O rejeito radioativo deve ser colocado em local designado para tal e em recipientes sinalizados que são manuseados somente pelo pessoal de laboratório e não pelo pessoal de limpeza. Os recipientes devem ser movimentados por pedais para evitar a contaminação da parte externa. Com relação as regras a serem cumpridas pelos laboratórios, os limites de 0,1 QF / kg e 2,5 μSv/h (0,25 mR/h) para descarte devem ser obedecidos.



a. Incineração

Os materiais que podem ser encaminhados para incineração são os rejeitos que oferecem risco biológico e as carcaças de animais. Não estão incluídos os rejeitos originados no laboratório tais como luvas descartáveis, material utilizado em cobertura de bancadas, tubos plásticos, etc. O rejeito não pode exceder a 0,1 da QF por quilograma. O material deve ser embalado, e deve ser garantido que o embalado não seja danificado quando manuseado. O material biológico que não contém radioisótopos, incluindo os que oferecem risco biológico, animais, órgãos ou parte de órgãos, devem ser encaminhados para incineração. Quando os materiais que oferecem risco biológico contém radioisótopos, a autoclavagem do rejeito antes de descartá-lo deve ser evitada, pois o processo resultará na contaminação radioativa da autoclave. Nestas situações, o procedimento para manuseio do rejeito deve ser aprovado pelo supervisor de radioproteção antes de dar início à pesquiza.



b. Não combustível

Todo rejeito radioativo não combustível de baixa atividade entra no sistema de coleta de lixo regular, ver Apêndice IV. Para garantir que as orientações para o descarte estão sendo obedecidas, a radioatividade presente no rejeito não deve oferecer risco à saúde de qualquer indivíduo que possa manuseá-lo e nem oferecer risco ao meio ambiente. Portanto, é extremamente importante que as orientações para descarte de 0,1 QF por quilograma de rejeito e a taxa de dose de 2,5 μSv/h (0,25 mR/h) sejam obedecidas. Os frascos contendo material cintilador após esvaziados e as vidrarias contaminadas, pipetas, metais, etc. devem ser manuseados como rejeitos não combustíveis. Os frascos plásticos para cintilação devem ser esvaziados antes de serem descartados. Se

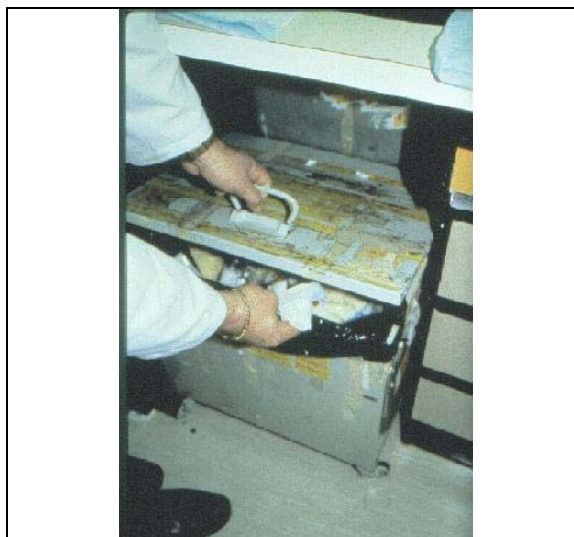
os frascos contiverem coquetel a base de tolueno, podem ser conservados abertos durante uma noite numa capela com exaustão para permitir a evaporação dos traços remanescentes do solvente. Se, porém, o coquetel é solúvel em água ou biodegradável, os frascos devem ser enviados imediatamente para descarte já que o conteúdo do traçador não provoca evaporação, porém pode causar a dissolução dos sacos de rejeito.



O saco contendo rejeito com vidro deve ser lacrado e monitorado com um contador G-M para garantir que o campo de radiação é menor que $2,5\mu\text{Sv/h}$ ($0,25\text{ mR/h}$). O material não pode exceder a 0,1 QF por quilograma. Não deve existir marcas, fitas, ou símbolos indicando que o saco pode conter rejeito radioativo de baixa atividade. O pesquisador deve dispor o material no sistema de coleta regular de frascos de vidro. Para garantir que as orientações para descarte estão sendo cumpridas, não deve existir qualquer possibilidade de que exista radioatividade oferecendo risco à saúde de qualquer indivíduo que possa manusear o rejeito.

14.4 Rejeito de Alta Atividade

Podem surgir ocasiões em que o nível de contaminação radioativa nos rejeitos não reúnem as condições estabelecidas nas orientações para o descarte de radioisótopos. Diferentemente dos rejeitos líquidos que contém isótopos acima do critério para descarte, os rejeitos sólidos não podem ser diluídos para atender aos limites para as Quantidades Fixadas. Adicionar simplesmente um tijolo de chumbo para o saco de rejeito sólido para alcançar a atividade por quilograma, critério para o descarte, não reduz a concentração ou o risco associado ao material radioativo. Nestas situações existem duas situações disponíveis.



a. Decaimento

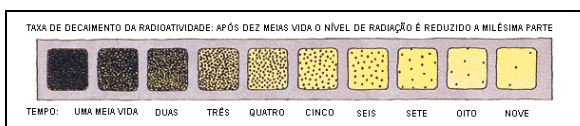
Quando usar radioisótopo com meia vida maior que 90 dias, todo o rejeito sólido que excede as orientações para descarte deve ser recolhido até que atenda ao padrão de aceitação. Recomenda-se que os rejeitos líquidos aquosos contendo isótopos de meia vida curta sejam diluídos nos rejeitos do sistema de coleta sanitária ao invés de serem recolhidos para decaimento.

Cada espaço de pesquisa possui um problema a ser administrado que são os locais para armazenamento para decaimento de forma diferenciada. Em alguns edifícios, existem salas próprias para que os usuários armazenem seus rejeitos de forma correta em recipientes para decaimento radioativo. Em alguns setores, os locais para armazenamento encontram-se no próprio laboratório. Em cada situação, é importante sinalizar todos os recipientes com a data inicial de coleta, o isótopo e a atividade, pesquisador, usuário e a data prevista para o descarte.

É importante garantir que a documentação de todas as quantidades de radioatividade descartadas como rejeito sólido está sendo mantida.

Como regra geral, dez meias vidas garantirá que todo o isótopo tenha decaído para o nível de atividade aceitável. Ter em mente que os campos de radiação emitidos por estes embalados podem ser muito altos, é importante imprimir a informação em letras

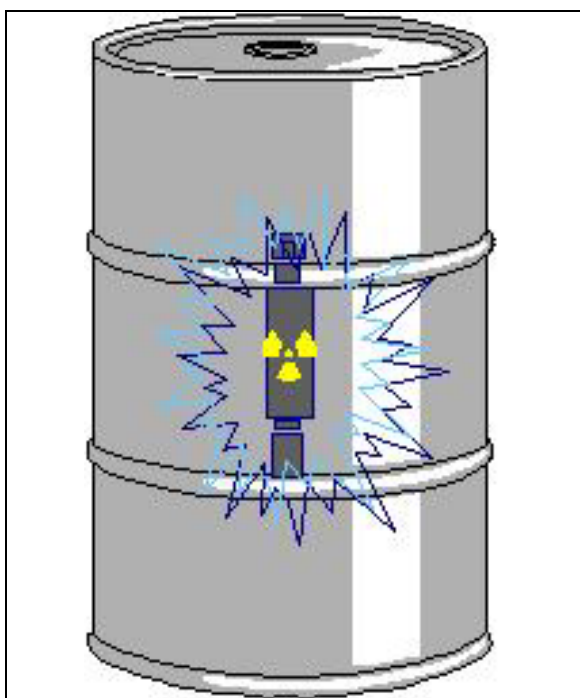
maiúsculas para que possa ser lida a uma distância segura, ver Apêndice II.



b. Tambores

Nas situações onde a atividade a ser disposta excede as orientações para descarte de rejeitos sólidos, e a meia vida do isótopo não permite a aplicação da regra para decaimento, o material deve ser recolhido em tambores e encaminhado para a autoridade regulatória para um gerenciamento mais eficaz. O recipiente adequado para a coleta são tambores disponíveis comercialmente.

Os rejeitos sólidos combustíveis e não combustíveis devem conter menos que 0,1 da QF por quilograma e emitir menos que 2,5 $\mu\text{Sv/h}$ (0,25 mR/h) na superfície do recipiente.



Devem ser mantidos muitos esforços para minimizar o volume de rejeitos uma vez que os procedimentos para a sua coleta são muito onerosos. Se os papéis absorventes utilizados na cobertura de bancada apresentam uma grande contaminação, a peça inteira não necessita ser descartada, porém, os pontos que apresentam contaminação podem ser cortados da folha e colocados nos tambores. Estes tambores são adequados para a disposição de frascos de solução padrão contendo isótopos não utilizados, colunas para cromatografia e vidrarias contaminadas usadas nos processos de iodação, metais e amostras geológicas radioativas, etc. A atividade de todos os isótopos descartados como rejeito colocada no tambor deve ser documentada e os registros dos descartes devem ser conservados. Devem ser feitos acordos com supervisor de radioproteção para o recebimento, inspeção, inventário e expedição dos tambores após serem lacrados.

Somente o material que não apresentar concordância com os limites para rejeitos por qualquer razão deverá ser colocado em tambores para disposição.

Tabela 6. Atividades Máximas para Disposição

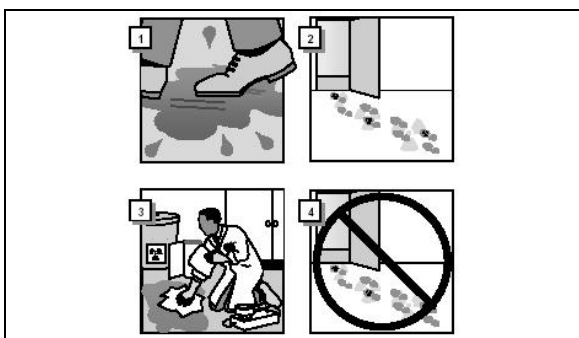
| Isótopo | Quantidade Fixada (QF) | | Limites para Disposição | | | | | |
|---------|------------------------|-------|-------------------------|--------|----------------------|-------|-------------------------------|--------------------|
| | (kBq) | (μCi) | Sólido 0,1 QF/kg | | Líquido 0,01 QF/L | | Ar 0,001 QF/m ³ | |
| | | | kBq/kg | μCi/kg | kBq/l | μCi/l | kBq/m ³ | μCi/m ³ |
| H-3 | 37000 | 1000 | 3700 | 100 | 370 | 10 | 37 | 1 |
| C-14 | 3700 | 100 | 370 | 10 | 37 | 1 | 3,7 | 0,1 |
| P-32 | 370 | 10 | 37 | 1 | 3,7 | 0,1 | 0,37 | 0,01 |
| S-35 | 370 | 10 | 37 | 1 | 3,7 | 0,1 | 0,37 | 0,01 |
| Ca-45 | 370 | 10 | 37 | 1 | 3,7 | 0,1 | 0,37 | 0,01 |
| Na-22 | 370 | 10 | 37 | 1 | 3,7 | 0,1 | 0,37 | 0,01 |
| I-125 | 37 | 1 | 3,7 | 0,1 | 0,37 | 0,01 | 0,037 | 0,001 |

EMERGÊNCIA RADIOLÓGICA

RESPOSTA

15. Incidentes e Acidentes com Fontes

Podem ocorrer acidentes até mesmo nos melhores laboratórios, e as pessoas que fazem uso de materiais radioativos devem estar cientes de quais procedimentos devem ser seguidos. Para garantir o gerenciamento adequado de qualquer incidente de natureza que possa dar origem a uma emergência, especialmente aqueles envolvendo pessoas contaminadas, o supervisor de radioproteção deve ser notificado imediatamente. Nenhuma pessoa deve reassumir o trabalho nos locais de uma emergência até que seja autorizada pelo supervisor de radioproteção para fazê-lo. Se o volume for maior que um litro, ou se necessitar de ajuda, procurar o grupo de emergência local.



Notificar imediatamente o supervisor de radioproteção no evento de qualquer acidente com a liberação de material radioativo, vazamento de material ou contaminação de pessoas.

Um acidente é definido como qualquer situação ou evento não esperado, que causa malefícios em pessoas e danos à propriedade. Os incidentes são definidos como ocorrências menores que não causam malefícios nem danos. O tipo mais provável de incidente com radiação que pode ocorrer num laboratório é um vazamento de material. A melhor maneira de garantir o atendimento com segurança num evento envolvendo o vazamento de material radioativo é estar preparado para tal situação. Familiarizar-se com os seguintes procedimentos e regularmente, verificar se o conjunto para atendimento com emergências existente no laboratório encontra-se em bom estado de conservação. O conjunto deverá conter os seguintes itens:

- luvas descartáveis ou equivalente;
- sacos plástico para coleta de rejeitos e sapatilhas para os pés;
- fita zebra e material para limpeza;
- material absorvente;
- detergentes para descontaminação.



15.1 Vazamentos.

O que fazer quando ocorrer um vazamento!

1. Notificar imediatamente todas as pessoas nas proximidades do vazamento. Evacuar a área se necessário.
2. Notificar o gerente e o supervisor de radioproteção. Se o vazamento for maior que um litro ou se você não for capaz de cuidar do vazamento, solicitar ajuda ao grupo de atendimento a emergências.
3. Remover a roupa contaminada e descontaminar qualquer área do corpo que possa ter sido contaminada. Se os indivíduos apresentarem contaminação, ver seção 16.
4. Acessar as características dos isótopos, tipo de emissão, energia, meia vida e, portanto determinar o risco potencial e os procedimentos de limpeza.
5. Usar roupa proteção adequada. É necessário pelo menos um número mínimo de aventais e luvas de borracha. Os vazamentos envolvendo solventes exigem o uso de mascaras com filtro

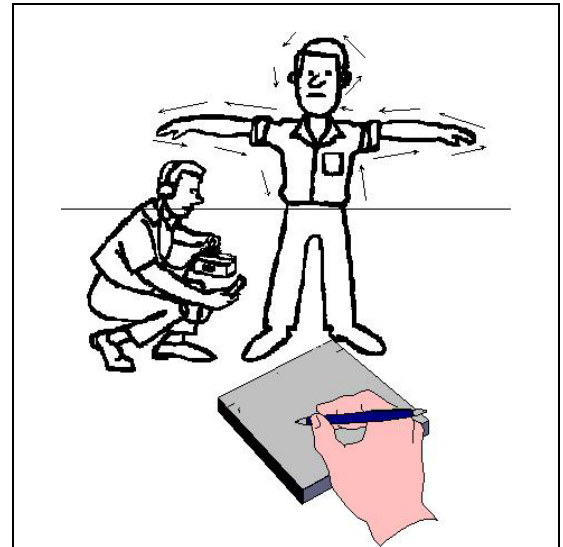
duplo equipados com proteção para gases ácidos e vapores orgânicos.

6. Desligue qualquer dispositivo, instrumento ou máquina que poderia acentuar o vazamento.
7. Use detector adequado para monitorar o vazamento, equipamentos ou pessoas, para determinar a extensão do vazamento.
8. Contenha o vazamento e evite a sua dispersão. Vazamentos contendo líquidos: usar papel absorvente, papel toalha ou mata borrão. Vazamentos contendo pó: coloque material absorvente umedecido sobre o vazamento. Não use jato para borrifamento.
9. Demarque a área contaminada com fita zebra, interrompa a circulação no local.
10. Limpe a área fazendo uso de uma solução de descontaminação contendo de 2% a 5% de detergente tendo o cuidado de evitar a dispersão do vazamento. Se a contaminação persistir, aumente a concentração do detergente. Coloque os materiais de limpeza contaminados no rejeito combustível. Providencie um esfregão na área para garantir que todos os pontos contaminados pelo vazamento tenham sido descontaminados.

15.2 Teste de Fuga em Fontes Seladas

Os radioisótopos tais como Ni-63, Cs-137, Ra-226 tem que ser contados dentro de uma blindagem quase que a todo o momento. Em algumas circunstâncias, as fontes seladas podem apresentar vazamento devido a falhas em sua contenção. O risco principal apresentado por estas fontes é a exposição externa a radiação gama.

1. Evacuar as pessoas das áreas e colocar sinalização.
2. Monitorar e demarcar a área. Certos isótopos tais como o Am-241 não é facilmente detectável e pode produzir um falso sentido de segurança para o pessoal que apresentam pouca ou nenhuma experiência. A monitoração pode ser realizada com um contador Geiger-Mueller ou com um detector cintilador gama para baixas energias (DCGBE).
- 3..Monitorar todas as pessoas.



4. Notificar o supervisor de radioproteção antes de dar início ao processo de descontaminação individual.
5. Usar dispositivos de manuseio remoto tais como pinças ou garras para colocar a fonte num recipiente blindado.
6. Usando os procedimentos de limpeza enumerados na seção 15.1, descontaminar a área.

16. Descontaminação Individual

As pessoas envolvidas, ou seu supervisor devem garantir que a informação de um incidente ou acidente seja fornecida ao serviço de radioproteção.

16.1 Contaminação Externa

Se um indivíduo foi contaminado com radioisótopo, deve seguir o seguinte procedimento:

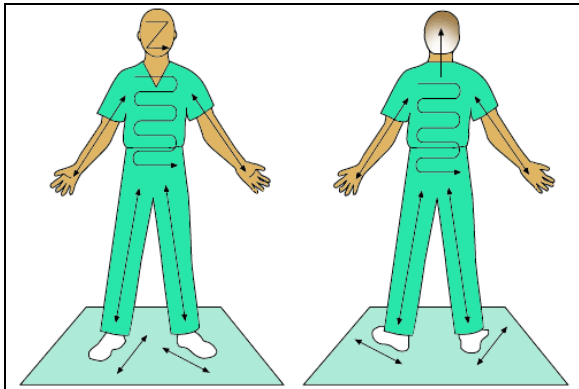
1. Determinar a extensão da contaminação com o detector mais apropriado e mais sensível.

2. Remover a roupa contaminada.



3. Lave as áreas afetadas com grande quantidade de água morna durante vários minutos..
4. Monitorar a área contaminada. Lavar com sabão neutro.

Não use detergentes para descontaminação tais como Radclean que são indicados somente para equipamentos.

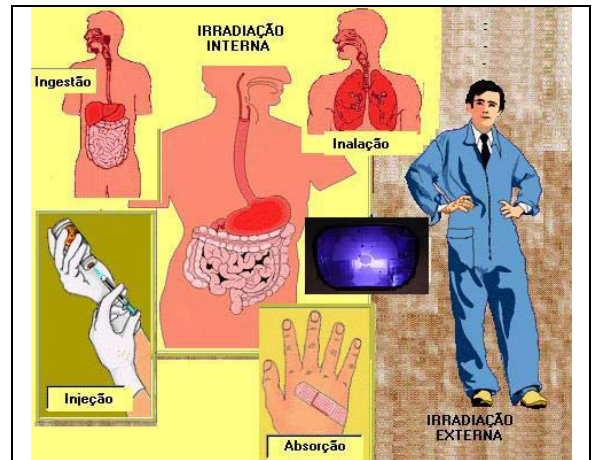


5. Trabalhar moderadamente com espuma de sabão durante aproximadamente 3 minutos nas áreas contaminadas. Enxágüe completamente..
6. Monitorar, e repetir o passo 5 se a contaminação persistir.
7. Monitorar, e se a contaminação persistir, use cremes suaves ou óleo para limpeza de pele de criança.
8. Monitorar, e se a contaminação persistir, não faça mais nada. Não use abrasivos ou detergentes cáusticos. A partir deste momento a contaminação já se encontra impregnada na pele e qualquer outra manipulação adicional poderia facilmente resultar num ferimento ou desidratação do tecido que resultaria numa contaminação interna.
9. Notificar imediatamente o supervisor de radioproteção.

16.2 Contaminação Interna

Se um indivíduo ingeriu ou acidentalmente Injetou-se com um radioisótopo, é consenso de segurança radiológica, se a vítima esta consciente, que a mesma beba uma boa quantidade de água e imediatamente em seguida receba atenção médica. Procurar informações nas folhas de dados de segurança para o material em questão, disponíveis no serviço de radioproteção para obter a informação sobre os primeiros cuidados. Comunicar o serviço médico e o serviço de radioproteção.

Se um indivíduo ingeriu material radioativo quimicamente tóxico, tratar a toxicidade química primeiro.



17. Acidentes

A pessoa afetada ou seu supervisor deve assegurar que um incidente ou acidente seja informado e notificado ao serviço de radioproteção.



Dentro de 72 horas de uma enfermidade requerendo atenção médica, um formulário descrevendo o acidente deverá ser preenchido e encaminhado para o serviço de radioproteção.

SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO 315

| | | |
|---|--|---|
| MINISTÉRIO DO TRABALHO Secretaria de Segurança e Medicina do Trabalho Delegacia Regional do Trabalho ACIDENTE COM RADIAÇÃO IONIZANTE | | Comunicação N.º ANEXO II |
| 2 — IDENTIFICAÇÃO DO ACIDENTADO | | |
| 2.1 — NOME | 2.2 — MATRÍCULA | |
| 2.3 — LOTAÇÃO | 2.4 — CARGO ATUAL | 2.5 — FUNÇÃO ATUAL |
| 2.6 — TEMPO NA FUNÇÃO e m d | 2.7 — ADMISSÃO | 2.8 — OUTROS ACIDENTADOS N.º [.....] |
| 3 — IDENTIFICAÇÃO DO ACIDENTADO E SUAS CIRCUNSTÂNCIAS | | |
| 3.1 — DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO ACIDENTE | | |
| | | |
| | | |
| 3.2 — DATA DO ACIDENTE/...../..... | 3.3 — HORA DO ACIDENTE | 3.4 — LOCAL DO ACIDENTE |
| 3.5 — JORNADA DE TRABALHO <input type="checkbox"/> NORMAL <input type="checkbox"/> PRORROGADA | 3.6 — TIPO DE SERVIÇO <input type="checkbox"/> ROTINA <input type="checkbox"/> OPERAÇÃO <input type="checkbox"/> EMERGENCIA <input type="checkbox"/> MANUTENÇÃO <input type="checkbox"/> OUTROS (ESPECIFICAR) | |
| 3.7 — TIPO DO ACIDENTE <input type="checkbox"/> COM LESÃO | CÓDIGO [.....] CÓDIGO [.....] CÓDIGO [.....] | |
| CARIMBO DA ORGANIZAÇÃO OPERADORA | 4 — LOCAL | DATA |
| | NOME LEGÍVEL | REG. SSMT/MTB |
| | ASSINATURA | |

b. Ferimentos Graves

1. Para as situações que necessitam de primeiros cuidados básicos atender na própria área pedindo ajuda ao serviço médico. Descrever as regiões feridas, a quantidade e tipo de radionuclídeo envolvido, bem como a forma física e química do material.
2. Informe o grupo de emergência sobre as condições de contaminação, natureza dos ferimentos e procedimentos para o manuseio de radioisótopos.
3. Assegure-se de que o material radioativo não causará novas contaminações à vítima do acidente.
4. Isole as partes do corpo contaminadas tanto quanto possível usando qualquer material disponível.
5. Notifique imediatamente o supervisor de radioproteção e o serviço de radioproteção.

17.1 Acidentes Envolvendo Pessoas Feridas

Num evento com pessoas feridas, o tratamento do enfermo deve ser priorizado, até mesmo em relação às pessoas contaminadas. Portanto, pode ser possível que tenha alguma contaminação após a avaliação de todas as pessoas que estão deixando a área restrita.

a. Pequenos Vazamentos

1. Atuar imediatamente próximo ou junto do cenário do acidente.
2. Enxágüe os ferimentos contaminados com grande quantidade de água morna e force o sangramento.
3. Se o ferimento estiver no rosto, tome cuidado para não contaminar os olhos, nariz ou boca.
4. Lave o ferimento com sabão neutro e água morna, ver seções 16.1 e 16.2.
5. Fornecer vestimenta de primeiros cuidados. As áreas enfermas devem ser monitoradas para estabelecer o nível residual de radioatividade, se for necessário.
6. Notificar imediatamente o supervisor de radioproteção e o serviço de radioproteção.

18. Perda ou Roubo de Radioisótopos

As perdas ou roubos de material radioativo raramente ocorrem; porém, a CNEN trata este assunto como uma situação muito grave e necessita imediatamente ser notificada sobre os incidentes. Qualquer situação envolvendo o desaparecimento de fontes radioativas deve ser informado imediatamente ao serviço de radioproteção.



APÊNDICE I

Política de Exposição a Radiação para Mulheres

O limite estabelecido e os riscos causados pela radiação são aqueles fornecidos pela autoridade regulatória que são a dose de radiação para o abdome de uma mulher grávida não pode exceder a 1 mSv durante toda a gravidez e a dose durante um trimestre para uma mulher fértil não pode exceder a 10 mSv.

8. Todas as mulheres devem estar cientes da política estabelecida antes de fazer uso de radioisótopos ou equipamentos geradores de radiação ionizante.

As seguintes disposições devem ser aplicadas:

1. As mulheres são incentivadas a se desligarem de suas atividades com material radioativo, assim que declarar estar grávida ou tiver a suspeita de estar grávida.

2. A declaração de gravidez deve ser encaminhada para o serviço de radioproteção.

3. Em cooperação com o gerente o trabalhador deve revisar seu quadro de atividades e fazer com que as suas exposições sejam conservadas no menor valor possível.

4. Em certas circunstâncias onde seria prudente reduzir as exposições a radiação em níveis significativos e onde não é factível abaixar os níveis o trabalhador é incentivado a interromper suas atividades mesmo que não as tenha terminado.

5. A autorização para a realização de tarefas deve ser negada quando o trabalhador já apresentar uma dose de radiação que esteja se aproximando dos limites estabelecidos.

6. Exceto quando se aplica o item 5, a mulher grávida é livre pra escolher se continua ou não a realizar suas tarefas em presença de radiação ionizante. Para tanto, deve assinar um termo de compromisso comprometendo-se com as exigências legais estabelecidas para a sua situação.

7. Todas as ações consideradas para a mulher grávida devem ser informadas e revisadas pelo serviço de radioproteção. As revisões devem incluir as melhores prerrogativas para o trabalhador e para o laboratório. As recomendações estabelecidas pelo serviço de radioproteção são mandatórias.

APÊNDICE II

Formulários para o Inventário de Radioisótopos, Decaimento de Rejeito e Controle da Contaminação

Os formulários apresentados nas páginas seguintes contém as informações que a autoridade regulatória exige do usuário para atender as recomendações quanto ao critério de registro. O uso destes formulários específicos é mandatório a menos que seja aprovada uma alternativa equivalente.

Rejeitos de Baixa Atividade para Decaimento

USUÁRIO CREDENCIADO: _____

PESQUISADOR: _____ SACO #: _____

ISÓTOPO: _____ ATIVIDADE: _____

Campo de Radiação na Superfície do Recipiente na Data Inicial
_____ mR/hr ou _____ μ Sv/hr

Data Inicial: _____ Data para Descarte: _____

Remover este cartaz na data do descarte e guardar como Registro

FOLHA DE DADOS PARA RADIOISÓTOPOS

ISÓTOPO _____ ATIVIDADE _____ * VOLUME _____ IDENTIFICAÇÃO DO FRASCO _____

DATA DE RECEBIMENTO _____ TESTE DE ESFREGAÇÃO superfície externa do embalado _____ cpm
 Frasco Estocado na Sala # _____ Nome da Pessoa que recebeu o Isótopo _____

| DATA DE USO | USUÁRIO | ATIVIDADE USADA | ATIVIDADE RESTANTE | VOLUME USADO | VOLUME RESTANTE | DESCARTE DE ATIVIDADE * | | | |
|-------------|---------|-----------------|--------------------|--------------|-----------------|-------------------------|-------------------|-------------|-----------------|
| | | | | | | DECAIMENTO | DRENOS E TAMBORES | COMBUSTÍVEL | NÃO COMBUSTÍVEL |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Data Final para o Frasco ____/____/____ Frasco Transferido Recipiente de Rejeito # _____ para descarte * = UNIDADES kBq, MBq, µCi ou mCi

Rejeito Embalado no Recipiente # _____ Armazenado na Sala # _____ para Decaimento **OU** para Descarte Imediato

Recipiente de Rejeito Descartado em ____/____/____ Teste de Esfregaço deve corresponder aos registros de uso.

Preencher a parte superior quando receber um embalado contendo material radioativo. Os cartões de identificação são obtidos no serviço de radioproteção.

Preencher a seção central quando usar o material radioativo. Se o frasco contendo a solução padrão for separado em soluções padrões secundárias, isto é, usado para diferentes pesquisadores, registrar esta informação na folha original e criar uma folha para inventário em separado para cada uma das soluções padrões secundárias.

Preencher a parte inferior quando os recipientes de rejeito forem dispostos e quando a solução padrão já não estiver sendo mais utilizada. Assegure-se de que o recipiente de rejeito foi armazenado numa sala que não seja aquela onde a solução padrão é armazenada, e que o local onde o rejeito se encontra foi identificado. Quando um recipiente é colocado para decaimento, identifique o recipiente com o nome do pesquisador responsável, usuário, número do recipiente, isótopo, atividade, campo de radiação na superfície do recipiente, data inicial e data do descarte. As informações devem ser fornecidas ao supervisor de radioproteção. Quando a data de decaimento é alcançada e o material é descartado retire o cartão de identificação e anote a data no formulário do inventário.

APÊNDICE III

Cartão de Identificação para Compra ou Retirada de Material

| |
|--------------------------|
| Endereço do Destinatário |
| Nome |
| Rua |
| Cidade |
| CEP |
| Sala |

| |
|---|
| Usuário _____ |
| # da Licença do Usuário _____ |
| Data do Fornecimento _____ |
| Isótopo _____ Quantidade _____ MBq _____ mCi _____ μ Ci |
| Expedidor _____ |
| Ordem de Compra # _____ |
| Telefone _____ |

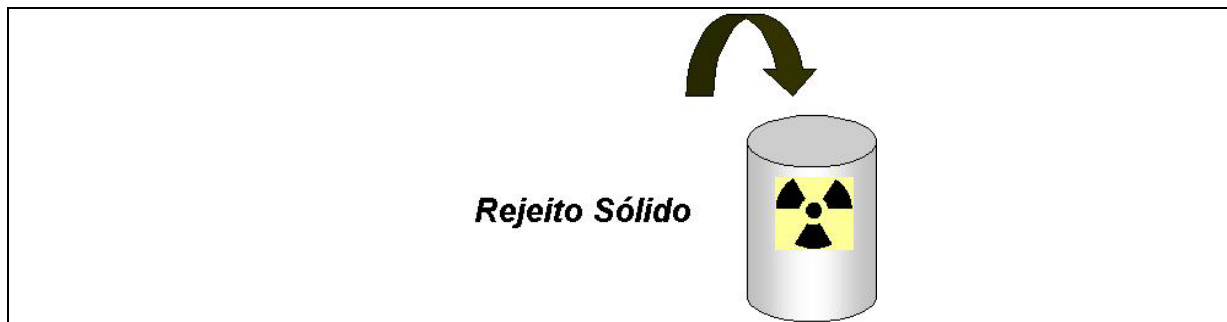


Formulário Eletrônico

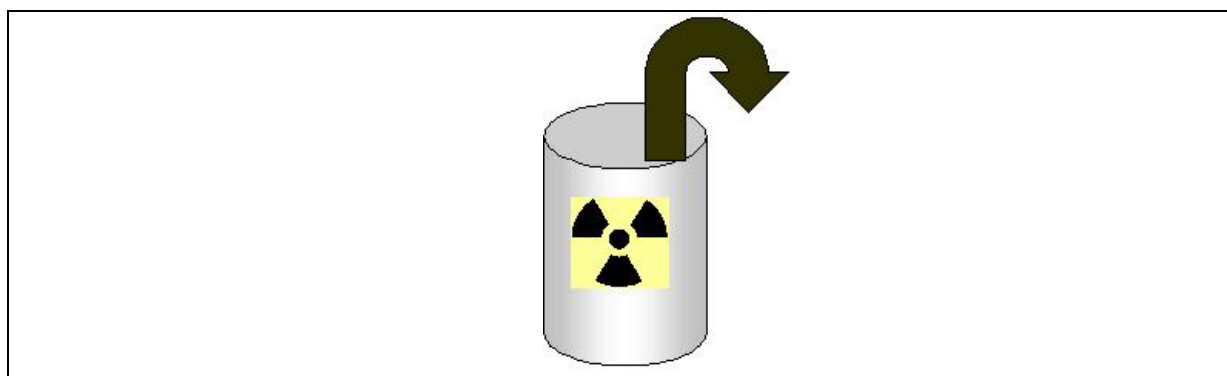
| | |
|-----------------------------------|---|
| Autorização: <input type="text"/> | Certificação: <input type="text"/> |
| Data: <input type="text"/> | Isótopo (P-32, C-14): <input type="text"/> |
| Atividade <input type="text"/> | Unidades: kBq <input type="checkbox"/> MBq <input type="checkbox"/> microCi <input type="checkbox"/> mCi <input type="checkbox"/> |
| Fornecedor: <input type="text"/> | Ordem de Compra: <input type="text"/> |
| Nome: <input type="text"/> | Telefone: <input type="text"/> |
| | |

APÊNDICE IV DESCARTE DE REJEITO SÓLIDO

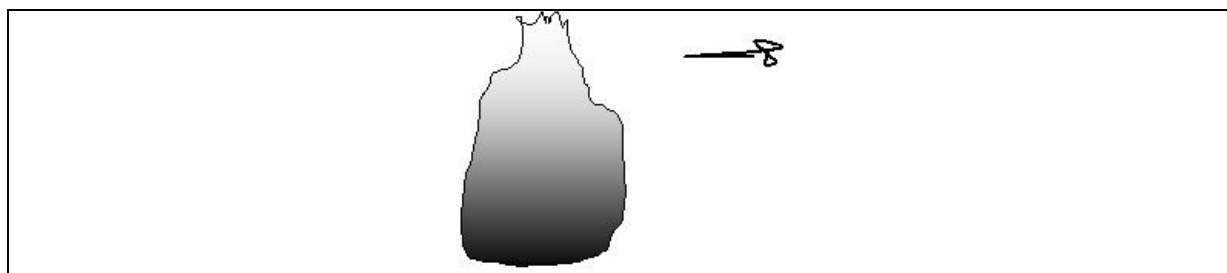
1. Garanta a existência de identificação com símbolo de radiação no recipiente. Forre o recipiente com um saco plástico.
2. Quando é gerado rejeito, descaracterize todos os símbolos indicativos de presença da radiação no material para descartá-lo. Coloque o material sólido no recipiente para rejeito radioativo designado para tal.



3. Assegure-se de que o campo de radiação emitido pela parede do recipiente é menor que $2,5 \mu\text{Sv/h}$ ($0,25\text{mR/h}$).



4. Quando o recipiente estiver cheio – remova o saco plástico – se o material já atender o critério para descarte de $0,1 \text{ QF/kg}$ e menos que $2,5 \mu\text{Sv/h}$ ($0,25 \text{ mR/h}$), vá direto para o passo 5. Complete e anexe o formulário de rejeito de baixa atividade (RBA) para o saco – coloque o saco no local de decaimento designado. Neste ponto o saco pode exceder a $2,5 \mu\text{Sv/h}$ ($0,25 \text{ mR/h}$) valor limitado para a condição de blindagem na sala de armazenamento. Anotar a data de descarte na agenda para não esquecer.



5. Quando é chegada a data para descarte e o material reúne os critérios para descarte – **0,1 QF/kg** e menos que **2,5 μ Sv/h (0,25 mR/h)**.
- Remover o RBA e coloque-o no arquivo de registros.
 - Coloque a data de descarte na folha de inventário para isótopos associada ao RBA.
 - Verifique e certifique-se de que não existe nenhuma identificação que caracterize a presença de radiação no saco.
 - Coloque o saco no ponto de coleta de lixo.

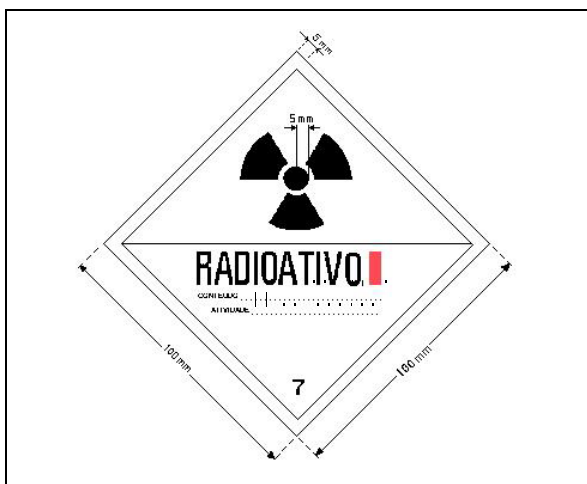
APÊNDICE V

Embalado para Transporte

Os recipientes para expedição de material radioativo podem apresentar diferentes rótulos dependendo de um certo número de fatores. As exigências para a expedição de radioisótopos são definidas na norma CNEN-NE-5.01. As quatro categorias de rótulos para uma condição normal de transporte são: embalado exceptivo, Branca-I, Amarela-II e Amarela-III.

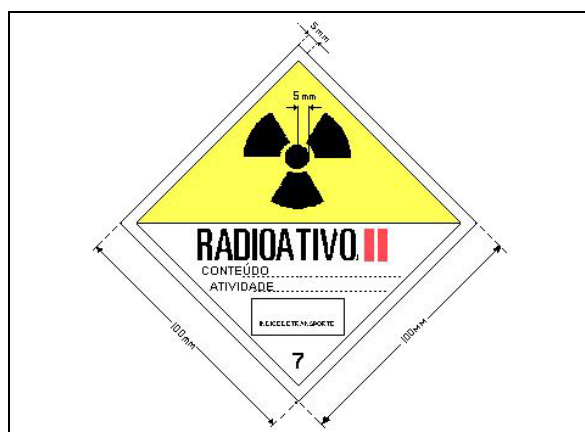
A marcação no embalado para a primeira classificação indica que o embalado atende o critério para um embalado exceptivo. Isto indica que a quantidade de isótopo sendo expedida não oferece um risco de irradiação externa para qualquer pessoa que esteja manuseando o pacote. Não existe símbolo específico para esta classificação.

A segunda categoria é a etiqueta Branca-I que apresenta o trifólio e uma barra vermelha no fundo branco. Isto indica que qualquer superfície do embalado apresenta um campo de radiação cuja intensidade máxima não excederá a $5\mu\text{Sv/h}$ ($0,5\text{mR/h}$).

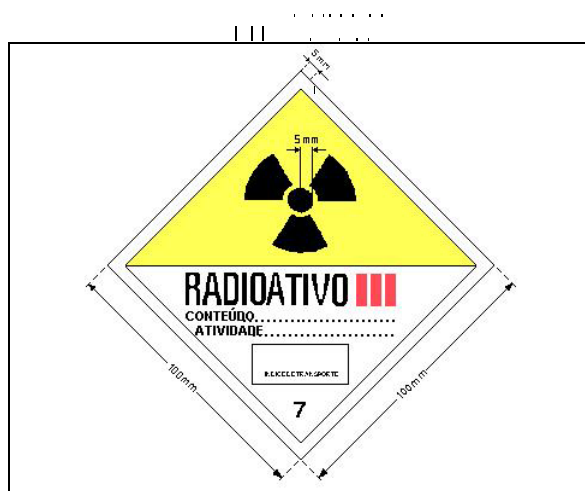


A terceira categoria é a etiqueta Amarela-II que apresenta o trifólio de radiação e duas barras vermelhas. Isto indica que em qualquer superfície externa do embalado a intensidade do campo de radiação será maior que $5\mu\text{Sv/h}$ ($0,5\text{mR/h}$) mas não excederá a $500\mu\text{Sv/h}$ (50mR/h). A metade superior da etiqueta é amarela e a metade inferior é branca. Além disso, o número observado no retângulo na parte

inferior da etiqueta indica o índice de transporte (IT). O IT restringe a radiação a um máximo de $10\mu\text{Sv/h}$ (1mR/h) a um metro de distância do embalado.



A Quarta categoria é a etiqueta Amarela-III que apresenta o trifólio de radiação e três barras vermelhas. Isto indica que em qualquer superfície do embalado o campo de radiação é maior que $500\mu\text{Sv/h}$ (50mR/h) mas não excede a 2mSv/h (200mR/h). A metade superior da etiqueta apresenta a cor amarela e a metade inferior a cor branca. O IT restringe o campo de radiação a um máximo de $100\mu\text{Sv/h}$ (10mR/h) a um metro do embalado.



GLOSSÁRIO DE TERMOS

A: número de massa de um certo nuclídeo.

ABSORÇÃO: transferência ou deposição de parte ou toda a energia da radiação que atravessa a matéria.

ACELERADOR DE PARTÍCULAS: dispositivo que acelera partículas carregadas sub atômicas para aumentar mais a energia. Estas partículas podem ser usadas para pesquisa física básica, produção de radioisótopos ou para a irradiação médica de pacientes.

ATIVAZÃO: absorção, geralmente de nêutrons ou partículas carregadas, a energia mínima para induzir este efeito é 10 MeV, pelo núcleo tornando-o radioativo.

ATIVIDADE: é o número de transformações nucleares ocorrendo numa certa quantidade de material por unidade de tempo. A unidade do SI para a taxa de transformação é o *becquerel*, que é definida como uma desintegração por segundo.

ATIVIDADE ESPECÍFICA: atividade total de um certo nuclídeo por grama de um elemento, ou nuclídeo radioativo.

ATENUAÇÃO: a redução da intensidade de um feixe de radiação gama ou X quando passa através de um material. Pode ser perda de energia do feixe pela deposição, absorção, e / ou pela dispersão, atenuação pela dispersão. Os três mecanismos principais pelos quais a energia é transferida do feixe para o material pelo qual passa são o efeito fotoelétrico, o efeito Compton, e produção de pares.

BECQUEREL (Bq): a unidade do SI para atividade definida como uma desintegração nuclear por segundo.

BLINDAGEM: material usado para evitar ou reduzir a passagem da radiação ionizante. Ver também camada semi redutora.

CAMADA DÉCIMO REDUTORA (CDR): espessura de um material específico que, quando introduzida na trajetória de um feixe de radiação X ou gama, reduz a intensidade deste feixe a um décimo de seu valor.

CAMADA SEMI REDUTORA (CSR): espessura de um material específico que, quando introduzido entre a trajetória de um feixe de radiação X ou gama reduz a intensidade do feixe à metade.

CAPTURA DE ELÉTRON: tipo de radioatividade onde um elétron atômico é absorvido pelo núcleo, e freqüentemente é acompanhado de emissão de radiação gama.

CARREGADOR: uma quantidade de material que não é radioativo ou que não é marcado de mesma composição química que sua correspondente contraparte radioativa ou marcada.

CINTILADOR GAMA DE BAIXA ENERGIA (CGBE): sistema de detecção que utiliza um cristal de haleto alcalino incorporado a uma fotomultiplicadora para detectar radiação gama e X de baixa energia.

COEFICIENTE DE ABSORÇÃO: uma vez que a absorção da radiação X e gama é exponencial em natureza, esta radiação não possui um alcance máximo de corte claro. A fração decrescente da intensidade de um feixe por unidade de espessura do absorvedor é expressada por um coeficiente de absorção linear.

COMPOSTOS MARCADOS: um composto consistindo em parte de moléculas compostas de um ou mais átomos distinguidos pela composição isotópica não natural, isótopos radioativos ou estáveis, ver também carregador.

CONCENTRAÇÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL (CMA): limite estabelecido para concentrações de radionuclídeos em água e ar, para 40 ou 168 horas por semana, que proporciona os valores da carga corporal máxima admissível e sua correspondente dosagem nos órgãos.

CONSTANTE DE DECAIMENTO: fração dos átomos que estão sofrendo desintegração nuclear por unidade de tempo.

CONTAMINAÇÃO RADIOATIVA: deposição inesperada de material radioativo num meio ou em qualquer tipo de superfície. Não se admite níveis de contaminação maiores que 100 cpm acima da radiação de fundo.

CONTADOR CINTILADOR: a detecção por cintilação é baseada na interação da radiação com substâncias conhecidas como flúor, sólidas ou líquidas, ou cintiladores. A excitação dos elétrons no flúor conduz a emissão subsequente de luz, cintilação, que é detectada por um tubo fotomultiplicador e convertida em um pulso eletrônico. A intensidade do pulso é proporcional à energia cedida pela radiação incidente na excitação do flúor.

COULOMB (C): quantidade de eletricidade transportada num segundo por uma corrente de *ampere*.

CURIE (Ci): unidade antiga usada para quantificar atividade de um material radioativo. Definida como sendo $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo.

DECAIMENTO RADIOATIVO: desintegração dos núcleos de um nuclídeo instável pela emissão espontânea de partículas carregadas e/ ou fótons.

DENSIDADE DE FLUXO DE ENERGIA – TAXA DE FLUÊNCIA DE ENERGIA: soma das energias, excluindo a energia residual, de todas as partículas passando através de uma área de seção de choque unitária por unidade de tempo.

DOSE EQUIVALENTE (H): produto da dose absorvida, pelo fator de qualidade (Q) e por qualquer outro fator modificador (N). Para a maior parte dos casos existentes no laboratório $N = 1$.

DOSE EQUIVALENTE COMPROMETIDA: dose equivalente total ponderada para os tecidos 50 anos após a absorção de um radionuclídeo no corpo.

DOSÍMETRO DE BOLSO: pequena câmara de ionização para bolso usada para monitoração da exposição individual à radiação.

DOSÍMETRO TERMOLUMINESCENTE (DTL): um pequeno estojo portado pelo trabalhador, que é usado para passivamente monitorar as doses de radiação individuais. Os cristais de fluoreto de lítio são as unidades funcionais no estojo, em que uma pequena fração de energia absorvida da radiação ionizante é armazenada num estado energético meta estável. Esta energia é mais tarde recuperada como fótons de luz visível, quando o material é aquecido.

EFEITOS ESTOCÁSTICOS: alterações patológicas induzidas que a probabilidade de ocorrer um efeito, ao invés da gravidade, é relacionada como uma função da dose sem apresentar um limiar, por exemplo, câncer.

EFEITO GENÉTICO CAUSADO PELA RADIAÇÃO: a radiação induz alterações no DNA das células germinativas resultando na passagem da informação genética alterada para as gerações futuras.

EFEITOS NÃO ESTOCÁSTICOS: alterações patológicas induzidas para as quais a gravidade do efeito varia com a dose, e para as quais deve ser excedido um limiar de dose, por exemplo, catarata no cristalino dos olhos.

EFICÁCIA BIOLÓGICA RELATIVA (EBR): termo que relaciona a habilidade da radiação de diferentes TEL produzir uma resposta biológica específica; comparação de uma dose para radiação de teste com a dose de radiação X de 250 keV que produz a mesma resposta biológica.

ENERGIA MÉDIA POR PAR DE ÍON: energia média gasta por uma partícula carregada num gás por par de íon produzido. Para a maior parte dos cálculos radiológicos este valor foi normalizado para 33,73eV.

ENERGIA DE LIGAÇÃO: energia representada pela diferença de massa entre a soma das partes componentes e a massa real do núcleo.

ENERGIA DE EXCITAÇÃO: energia necessária para alterar um sistema a partir de seu estado de energia mais inferior, estado fundamental, para um estado excitado.

ENERGIA DE IONIZAÇÃO: energia necessária para remover um elétron de um átomo dando origem a um par de íons. No ar, a energia de ionização média é 33,73 eV.

ENFERMIDADE SOMÁTICA: dano induzido pela radiação nas células que não são células germinativas.

ERITEMA: uma coloração avermelhada anormal da pele causada pela distensão dos capilares com sangue. Pode ser causado por uma variedade de agentes diferentes dos quais o calor, drogas, radiação ultravioleta e radiação ionizante, dose de 10 Gy, são os mais comuns.

ESPALHAMENTO: alteração de direção de partículas subatômicas ou fótons como resultado de colisões atômicas.

EXPOSIÇÃO (C/kg): medida da ionização produzida no ar pela radiação X ou gama. A soma das cargas elétricas de todos os íons de mesmo sinal produzidos no ar quando todos os elétrons liberados pelos fótons num volume de ar elementar são completamente parados no ar, dividido pela massa de ar no volume elementar. A unidade no SI *Coulomb* por quilograma substitui a unidade antiga *Roentgen*.

FATOR GEOMÉTRICO: fração do ângulo sólido total em relação a uma fonte de radiação que é subtendida pela face do volume sensível de um detector.

FATOR DE QUALIDADE (Q): fator modificador da dose principal que é baseado no poder de frenamento por colisão de uma partícula incidente e é empregado para calcular a dose equivalente a partir da dose absorvida.

FEIXE: um fluxo de radiação eletromagnética ou particulada que geralmente é unidirecional ou é divergente de uma fonte radioativa, porém está confinado a um pequeno ângulo.

FLUÊNCIA DE ENERGIA: soma das energias, excluindo a energia residual, de todas as partículas passando através de uma área de seção de choque unitária.

FÓTON: quantidade quantizada de energia eletromagnética, que as vezes mostra características de partículas.

GERADOR: dispositivo onde um nuclídeo produto de decaimento de um nuclídeo pai é eluído através de uma coluna de troca iônica carregada com o nuclídeo pai que possui uma meia vida muito grande quando comparada com a meia vida do nuclídeo filho.

GRAY (Gy): unidade do SI para a dose absorvida que é igual a um *joule* por quilograma, substitui o rad.

HOMEM REFERÊNCIA: compilação das informações anatômicas e patológicas definidas no relatório da ICRP Task Group on Reference Man (ICRP Publication 23) que são usadas para cálculos dosimétricos.

IRRADIAÇÃO: submissão a radiação.

ISOMERO: um estado excitado de um núcleo que possui vida longa. Frequentemente é desexcitado pela emissão de radiação gama, mas algumas vezes por decaimento β ou α .

ISÓTOPOS: nuclídeos com o mesmo número atômico, mesmo elemento químico, porém com diferente número de massa atômica.

JOULE (J): o trabalho feito quando o ponto de aplicação de uma força de um *newton* é deslocado a uma distância de um metro na direção da força.

LIMITE DE INCORPORAÇÃO ANUAL (LIA): a atividade de um radionuclídeo que, por ingestão, resulta numa exposição igual ao limite de dose anual máximo admissível.

LIVRE DE CARREGADOR: um preparado de radioisótopo em que não foi adicionado nenhum carregador e no qual devem ser consideradas algumas precauções para minimizar a contaminação com outros isótopos. Material de alta atividade específica frequentemente é desconsiderado em relação a estar livre de carregador, porém, é mais corretamente definido como abundância isotópica alta.

MEDIDOR PORTÁTIL: instrumento de detecção da radiação carregado pelas mãos. Ver também tubo *Geiger-Mueller*.

MEIA VIDA BIOLÓGICA (MVB): tempo necessário para que o corpo elimine metade de uma dose administrada de qualquer substância pelos processos regulares de eliminação.

MEIA VIDA EFETIVA (MVE): tempo necessário para que um elemento radioativo presente num organismo vivo seja diminuído à metade como resultado combinado da ação da meia vida física e eliminação biológica.

MEIA VIDA FÍSICA (MVF): tempo necessário para que uma substância radioativa caia a metade de sua atividade pelo processo de decaimento. Cada radionuclídeo possui sua própria meia vida e é única para cada radioisótopo.

NÍVEIS DE ENERGIA: conjunto discreto de estados de energia quantizados dentro de um núcleo atômico, ou no átomo.

NUCLÍDEO: espécie de átomo no qual a constituição nuclear é especificada pelo número de prótons (Z), número de nêutrons (N), e o conteúdo de energia; ou alternativamente pelo número atômico (Z), número de massa $A = (N + Z)$, e massa atômica.

PARTÍCULA ALFA (α): um fragmento nuclear altamente energético carregado positivamente, composto de dois nêutrons e dois prótons, núcleo de hélio.

PARTÍCULA BETA (β): particular negativamente carregada emitida pelo núcleo de um átomo. É similar a um elétron energético.

PERÍODO DE LATÊNCIA: período ou estado de sensação de inatividade entre o momento da exposição do tecido a um agente maléfico tal como a radiação, e a apresentação do sintoma patológico associado.

PÓSITRON: particular igual em massa a um elétron e possui carga igual, porém positiva.

QUANTIDADE FIXADA (QF): quantidade regulada de radioatividade de um isótopo, nível em que é determinado o risco relativo associado com este isótopo durante a expedição ou descarte.

RADIAÇÃO DE ANIQUILAÇÃO: pósitrons interagem com elétrons negativos resultando no desaparecimento de ambas as partículas e a liberação de dois fótons de aniquilação de 511 keV.

RADIAÇÃO DE FRENAMENTO: radiações eletromagnéticas secundárias produzidas pela desaceleração rápida de partículas carregadas em campos eletromagnéticos intensos. A probabilidade de emissão é proporcional à massa dos núcleos do absorvedor.

RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA: um espectro de emissões de energia discreta tal como ondas de rádio, microondas, luz ultravioleta, luz visível, raios X, raios gama, etc, que não possui carga e nem massa, freqüentemente denominados fótons ou quanta.

RADIOATIVIDADE: propriedade de certos núclídeos instáveis para espontaneamente sofrerem transformações nucleares que resultam na emissão de radiações ionizantes.

RADIOISÓTOPO: sinônimo de radionuclídeo.

RADIONUCLÍDEO: nuclídeo radioativo.

RADIORESISTÊNCIA: resistência relativa de células, tecidos, órgãos e organismos para o dano induzido pela radiação.

RADIOSENSIBILIDADE: susceptibilidade relativa de células, tecidos, órgãos e organismos ao dano induzido pela radiação.

RAIOS X: radiação eletromagnética originada na camada da eletrosfera dos átomos.

RAMIFICAÇÃO: ocorrência de dois ou mais modos pelos quais um radionuclídeo pode sofrer decaimento radioativo para o estado estável. Um átomo individual de um nuclídeo que exhibe ramificações desintegra por um único modo somente. A fração de desintegração por um modo particular é a fração de ramificação para aquele modo. A razão de ramificação é a razão de duas frações de ramificações específicas, também denominada desintegração múltipla.

ROENTGEN (R): unidade antiga da exposição que foi substituída pela unidade do SI **Coulombs** por quilograma. Um roentgen é igual a $2,58 \times 10^{-4}$ Coulombs por quilograma de ar.

ROENTGEN EQUIVALENTE AO HOMEM (REM): unidade de dose equivalente antiga que é numericamente igual à dose absorvida em rad multiplicada pelo fator de qualidade, o fator de distribuição e qualquer outro fator modificador necessário. Foi substituída pelo **Sievert**, $100 \text{ rem} = 1 \text{ Sv}$.

SI: Sistema Internacional de nomenclatura científica.

SIEVERT (Sv): unidade do SI para dose equivalente que é numericamente igual a dose absorvida em **grays**, multiplicada pelo fator de qualidade, fator de distribuição e qualquer outro fator modificador necessário. $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$.

TECIDO FONTE: tecido, que pode ser um órgão do corpo, contendo uma quantidade significativa de radionuclídeo após a incorporação deste radionuclídeo.

TRAÇADOR ISOTÓPICO: um isótopo ou mistura de um elemento ou elementos que podem ser incorporados numa amostra para permitir observações do comportamento do elemento, sozinho ou em combinação, por intermédio de um processo químico, físico ou biológico. A observação pode ser feita por medidas da radioatividade ou da abundância isotópica.

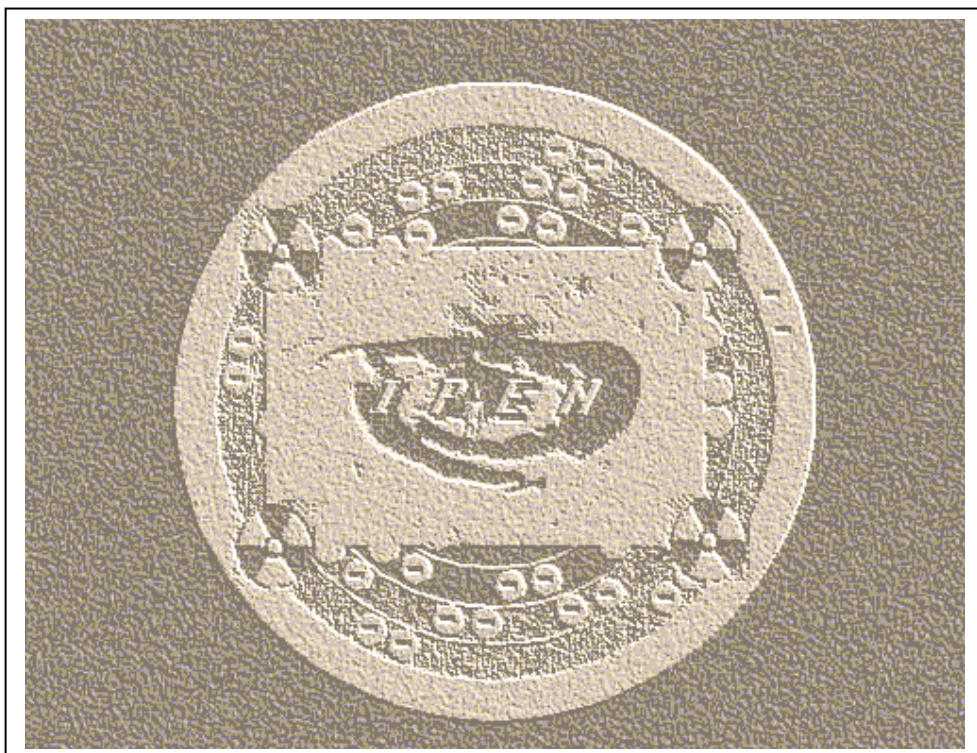
TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA LINEAR (TEL): taxa em que uma partícula incidente transfere energia quando passa através da matéria. A unidade é dada em keV por micrometro de caminho percorrido.

TUBO GEIGER MUELLER: principal componente de um medidor portátil para medida da radiação em laboratórios, cuja função é detectar a radiação incidente sobre ele. Um tubo *Geiger-Mueller* é composto de um gás de enchimento contendo dois eletrodos coaxiais que descarregam e recarregam com a geração de eventos ionizantes.

Z: número atômico de um certo nuclídeo.

BIBLIOGRAFIA

- Atomic Energy Control Regulations. Atomic Energy Control Board. 1988.
- Bioassay Guideline 3: Guidelines for Radioiodine Bioassay. Health and Welfare Canada. 1985.
- Concepts of Radiation Dosimetry. Kase, K.R. and Nelson, W.R. Pergamon Press. 1978.
- Dangerous Goods Guide to Initial Emergency Response. Canutec. 1986.
- Dangerous Goods Regulations. International Air Transport Association. 34th Edition. 1993.
- Design Guide for Basic and Intermediate Level Radioisotope Laboratories. Atomic Energy Control Board. Regulatory guide R-52. 1990.
- Exposure of the U.S. Population from Diagnostic Medical Radiation. National Council on Radiation Protection and Measurements. No. 100. 1989.
- Exposure of the U.S. Population from Occupational Radiation. National Council on Radiation Protection and Measurements. No. 101. 1989.
- Introduction to Health Physics. Cember, H. Oxford: Pergamon Press. 1983.
- Measurement and Detection of Radiation. N. Tsoulfanidis. New York: McGraw-Hill. 1983.
- Monitoring and Dose Recording for the Individual. Atomic Energy Control Board. Regulatory Policy Statement R-91. 1990.
- Radiologic science for technologists: Physics, Biology and Protection. S.C. Bushong. C.V. Mosby Co. 1980.
- Radiological Health Handbook. Compiled and edited by the Bureau of Radiological Health and the Training Institute, Environmental Control Administration. Washington, D.C.: Government Printing Office. 1970.
- Radiation Biology. A.P. Casarett. Prentice-Hall, Inc. 1968.
- Radiation Protection: A Guide for Scientists and Physicians. J.A. Shapiro. Harvard University Press. 1990.
- Radiation Protection for Medical and Allied Health Personnel. National Council on Radiation Protection and Measurements. No. 105. 1990.
- Report of the Task Group on Reference Man. International Commission on Radiological Protection. No. 23. Pergamon Press. 1975.
- The Thermoluminescent Dosimetry Service of the Radiation Protection Bureau. Health and Welfare Canada. 1978.
- RADIUM\OHS\Rad\Documents\Courses\Manual\Internet Manual2.doc



Av.Prof.Lineu Prestes # 2242
Cidade Universitária
São Paulo - SP - Brasil
CEP 05508-000
Tel. : (55-11) 3816-9219
Fax.: (55-11) 3816-9221
E-mail: msanches@ipen.br
www.ipen.br