

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Centro de Ciências Exatas (CCE)  
Departamento de Física (DFI)

Ronaldo Celso Viscovini

**Laboratório Didático de Física das  
Radiações e Medidores Nucleares**

Maringá - PR  
2016

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Centro de Ciências Exatas (CCE)  
Departamento de Física (DFI)

Ronaldo Celso Viscovini

**Laboratório Didático de Física das  
Radiações e Medidores Nucleares**

Monografia apresentada ao curso de  
Física para obtenção do Grau de  
Licenciado em Física.

Orientado por: Nilson Benedito Lopes.

Maringá - PR  
2016

Universidade Estadual de Maringá (UEM)  
Centro de Ciências Exatas (CCE)  
Departamento de Física (DFI)

RONALDO CELSO VISCOVINI

## **Laboratório Didático de Física das Radiações e Medidores Nucleares**

Esta monografia foi apresentada ao Departamento de Física, como requisito parcial para obtenção da habilitação em Licenciatura em Física, para comissão julgadora composta pelos membros:

Prof. NILSON BENEDITO LOPES  
Orientador - UEM

Prof. Dr. JURANDIR HILLMANN ROHLING  
Avaliador - UEM

Prof. Dr. LUIZ FERNANDO CÓTICA  
Avaliador - UEM

Maringá, 22 de fevereiro de 2016.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Nilson Benedito Lopes, meu mentor, padrinho, orientador e grande amigo desde 1986, grande responsável por eu ter escolhido ser físico;

Aos meus inúmeros amigos na UEM de Maringá e Goioerê;

Aos professores Jurandir Hillmann Rohling e Luiz Fernando Cótica, banca desta apresentação, pela colaboração e paciência;

A todos que contribuíram com este trabalho:

Meu muito obrigado.

## RESUMO

A física moderna, desde sua origem, esteve intimamente ligada as pesquisa em física das radiações, nuclear e das partículas. Começando com os trabalhos pioneiros de Röntgen, o casal Curie e Rutherford, passando pelos polêmicos reatores e armamentos nucleares até as últimas descobertas do Grande Colisor de Hádrons (LHC).

A Base Nacional Comum Curricular (BNC) proposta pelo Ministério da Educação (MEC) enfatiza a importância do ensino da física das radiações para a disciplina de física no ensino médio.

Esse trabalho tem como objetivo desenvolver um laboratório didático de física das radiações nucleares, baseado em uma montagem experimental que prima pela versatilidade e segurança. Esta montagem possibilitará aulas experimentais de física moderna e das radiações para os cursos de Física e de medidores nucleares para os cursos de Engenharia. A montagem foi desenvolvida para receber fontes seladas de  $^{137}\text{Cs}$  com até  $100\mu\text{Ci}$  de atividade.

Para avaliar a segurança da montagem experimental foram calculadas as taxas de exposição no seu entorno. Estes valores foram comparados com os limites de dose para indivíduos do público, definidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Também foram traçadas as curvas de isodoses de radiação dentro e fora da montagem experimental, utilizando-se um programa desenvolvido para o software Mathematica®.

Por fim, é apresentada a construção da montagem experimental, ilustrando cada componente utilizado. Isso poderá contribuir aos interessados em construir laboratórios didáticos de física das radiações ionizantes.

Palavras-chave: Ensino de física, radiações ionizantes, física nuclear.

Maringá

Janeiro de 2016

## ABSTRACT

Modern physics, from its origin, research in radiation physics, nuclear and particle has been closely linked. Beginning with the pioneering work of Röntgen, the Curies and Rutherford, through the controversial reactors and nuclear weapons to the latest findings of the Large Hadron Collider (LHC).

The Common National Base Curriculum (Base Nacional Comum Curricular - BNC) proposed by the Brazilian Ministry of Education (Ministério da Educação - MEC) emphasizes the importance of radiation physics teaching for physics course in high school.

This work aims to develop a physics teaching laboratory of nuclear radiation, based on an experimental setup that excels in versatility and security. This arrangement will enable experimental classes of modern physics and radiation for courses in physics and nuclear gauges for engineering courses. The assembly is designed to receive sealed sources with  $^{137}\text{Cs}$  to  $100\mu\text{Ci}$  activity.

To evaluate the safety of the experimental setup were calculated exposure rates in its surroundings. These values were compared with the dose limits for public individuals, defined by the Brazilian National Nuclear Energy Commission (Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN). They were also plotted radiation isodose curves within and outside the experimental setup, using a program developed for the software Mathematica.

Finally, the construction of the experimental apparatus is shown, illustrating each component used. This may help those interested in building teaching laboratories of physics of ionizing radiation.

Keywords: Physics teaching, ionizing radiation, nuclear physics.

Maringa

January 2016

## Sumário

Capítulo 1. INTRODUÇÃO .....	1
Capítulo 2. FÍSICA DAS RADIAÇÕES NA PROPOSTA DA BASE COMUM CURRICULAR .....	3
2.1. Introdução .....	3
2.2. Componente Curricular Física .....	4
2.3. Unidades do Conhecimento (UCF) .....	8
2.4. Primeiro Ano do Ensino Médio .....	10
UC1F: Movimentos em Sistemas e Processos Naturais e Tecnológicos.....	10
UC2F: Energia em Sistemas de Processos Naturais e Tecnológicos. ....	13
2.5. Segundo Ano do Ensino Médio .....	17
UC3F: Eletromagnetismo em Sistemas e Processos Naturais e Tecnológicos. .	17
UC4F: Comunicação e Informação em Sistemas e Processos Naturais e Tecnológicos.....	19
2.6. Terceiro Ano do Ensino Médio .....	22
UC5F: Matéria e Radiação em Sistemas e Processos Naturais e Tecnológicos.	22
UC6F: Terra, Universo e Vida. ....	25
Capítulo 3. LABORATÓRIO DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES .....	28
3.1. Introdução .....	28
3.2. Design da Montagem Experimental Multiuso .....	28
3.2.1. Fonte de Radiação Ionizante.....	28
3.2.2. Blindagem e Obturador da Fonte de Radiação .....	29
3.2.3. Caixa de Proteção para o Feixe de Radiação.....	30
3.3. Cálculo das Doses de Radiação em Pontos Escolhidos.....	31
3.3.1. Considerações de Radioproteção.....	33
3.3.2. Recomendações de Segurança.....	34
Capítulo 4. SIMULAÇÃO DAS ISODOSES DE RADIAÇÃO.....	35
4.1. Introdução .....	35
4.2. Simulação das Curvas de Isodoses no Mathematica® .....	35
Capítulo 5. CONSTRUÇÃO DA MONTAGEM EXPERIMENTAL .....	38
5.1. Introdução .....	38
5.2. Fonte Blindada.....	38
5.2.1. Blindagem Principal .....	38
5.2.2. Porta-Fonte e Colimador .....	40
5.2.3. Suporte do Obturador .....	41
5.2.4. Montagem da Fonte Blindada.....	41
5.3. Obturador do Feixe de Radiação .....	43
5.4. Caixa de Proteção para o Feixe de Radiação.....	44
5.5. Aspecto Final da Montagem Experimental .....	45
5.6. Componentes da Montagem Experimental.....	46
Capítulo 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
Anexo A - DIRETRIZES BÁSICAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA (CNEN NN 3.01).....	54

# Capítulo 1.

## INTRODUÇÃO

A física moderna, desde sua origem, esteve intimamente ligada as pesquisa em física das radiações, nuclear e das partículas. Começando com os trabalhos pioneiros de Röntgen, o casal Curie e Rutherford, passando pelos polêmicos reatores e armamentos nucleares até as últimas descobertas do Grande Colisor de Hádrõs (LHC).

A Base Nacional Comum Curricular (BNC) proposta pelo Ministério da Educação (MEC) enfatiza a importância do ensino da física das radiações para a disciplina de física no ensino médio. A BNC apresenta seis Unidades do Conhecimento para Física (UCF), sendo um deles: Matéria e radiação em sistemas e processos naturais e tecnológicos, que propõe o ensino:

“conhecimentos da Física que auxiliam a compreensão do uso das radiações em variadas atividades na atualidade, como em diagnósticos médicos, como radiografia e tomografia, na produção de energia com base em processos nucleares, ou nas guerras com as bombas de fissão e fusão nuclear. Isso depende de responder diferentes questões: no que diferem essas radiações? Como elas são produzidas? Como as diferentes radiações interagem com a matéria? Do que a matéria é constituída? Quais são os efeitos biológicos e ambientais das diferentes radiações? Esta unidade estuda as propriedades das radiações e da matéria, bem como suas interações” (BRASIL/MEC 2015).

O ensino teórico de física das radiações nucleares está inserido nos cursos de Física (licenciatura e bacharelado) geralmente em disciplinas de física moderna. Mas, infelizmente, tal ensino teórico não costuma ser acompanhado por aulas experimentais em laboratórios didáticos específicos para radiação, como o proposto neste projeto.

Medidores nucleares são equipamentos que utilizam fontes radioativas, geralmente seladas e blindadas, acoplada de detectores de radiação. Existem diversas tipos diferentes de medidores nucleares, que tem sido cada vez mais utilizado na área industrial, entre os quais se destacam: medidores de espessura (papel, borracha, metais), medidores de vazão e densidade em tubulações (produtos químicos), medidores de nível em latinhas (refrigerantes, bebidas fermentadas), em

silos (agrícolas, matéria primas industriais), em esteiras deslizantes (minérios), medidores de teores e concentração (minérios e produtos químicos), radiografia / gamagrafia industrial (tubulações de produtos tóxicos / explosivos, peças aeronáuticas). Dessa forma seria muito importante que os cursos de engenharias industriais (mecânica, química, eletrônica, mineral) tivessem disciplina teórico-prática de medidores nucleares, que poderia ser ministrada no laboratório proposto neste trabalho.

O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver uma montagem experimental que possa ser utilizada em laboratórios didáticos de física das radiações nucleares, primando pela versatilidade e segurança.

Esse laboratório poderia ser utilizado:

- Nos cursos de física para aulas experimentais sobre natureza das radiações ionizantes para medições de coeficientes de blindagem de materiais diversos, radioproteção e espelhamento Compton com a linha de emissão de 661keV do  $^{137}\text{Cs}$ ; cintilação e cristalografia por raios X com a linha de emissão de 32keV do  $^{137}\text{Cs}$ .

- Nos cursos de engenharia para aulas experimentais sobre natureza das radiações ionizantes para medições de coeficientes de blindagem de materiais diversos, radioproteção, simulação de medidores nucleares para medições de espessura, nível, fluxo, densidade, concentração e gamagrafia.

## **Capítulo 2.**

# **FÍSICA DAS RADIAÇÕES NA PROPOSTA DA BASE COMUM CURRICULAR**

### **2.1. Introdução**

Segundo o Ministério da Educação (MEC):

A Base Nacional Comum Curricular (BNC) vai deixar claro os conhecimentos essenciais aos quais todos os estudantes brasileiros têm o direito de ter acesso e se apropriar durante sua trajetória na Educação Básica, ano a ano, desde o ingresso na Creche até o final do Ensino Médio. Com ela os sistemas educacionais, as escolas e os professores terão um importante instrumento de gestão pedagógica e as famílias poderão participar e acompanhar mais de perto a vida escolar de seus filhos.

A Base será mais uma ferramenta que vai ajudar a orientar a construção do currículo das mais de 190 mil escolas de Educação Básica do país, espalhadas de Norte a Sul, públicas ou particulares.

Com a BNC, ficará claro para todo mundo quais são os elementos fundamentais que precisam ser ensinados nas Áreas de Conhecimento: na Matemática, nas Linguagens e nas Ciências da Natureza e Humanas.

A Base é parte do Currículo e orienta a formulação do projeto Político-Pedagógico das escolas, permitindo maior articulação deste. A partir da Base, os mais de 2 milhões de professores continuarão podendo escolher os melhores caminhos de como ensinar e, também, quais outros elementos (a Parte Diversificada) precisam ser somados nesse processo de aprendizagem e desenvolvimento de seus alunos. Tudo isso respeitando a diversidade, as particularidades e os contextos de onde estão. (BRASIL/MEC 2015).

Analisando a BNC proposta para a área da física, percebe-se o interesse de extrapolar a tradicional sequência curricular da física, baseada na mecânica, termodinâmica, eletromagnetismo e óptica.

Existe a inserção de tópicos modernos, entre os quais se destacam astrofísica e física nuclear e das radiações ionizantes. Mas a grande maioria dos cursos de Licenciatura em Física não tem na sua grade curricular disciplinas a respeito desses assuntos. Laboratórios didáticos de física nuclear e das radiações ionizantes para estes cursos são muito raros.

Nas próximas seções será apresentada, na íntegra (BRASIL/MEC 2015), a proposta atual da Base Comum Curricular para a área da física. Os tópicos ligados direta ou indiretamente com física nuclear e das radiações ionizantes foram destacados (grifados por nós).

## 2.2. Componente Curricular Física

Crianças, jovens e adultos são expostos cotidianamente a fenômenos complexos que podem e devem ser tratados desde cedo na educação escolar, seja pela simples observação de uma porta que se abre automaticamente, ao se interromper um feixe de luz, visível ou não, seja pela percepção de que o controle remoto da TV não funciona dentro do bolso. A inter-relação mundial provida hoje pela Internet decorre da aplicação de conhecimentos físicos presentes na microeletrônica de semicondutores e lasers, de modo semelhante ao encontrado em equipamentos usados em terapias médicas ou em uma UTI, que fazem a interface entre corpos humanos e um sofisticado sistema de diagnóstico (grifo nosso) Fenômenos aparentemente tão distintos como a colisão de veículos, a emissão de luz por átomos ou a variação das marés envolvem princípios físicos gerais, tais como a conservação da energia e da quantidade de movimento linear e angular. Da mesma forma, a segunda lei da termodinâmica pode ser aplicada a sistemas tão diversos quanto o funcionamento de um motor de combustão interna ou a erupção de um vulcão.

Os conceitos e modelos da Física nos ajudam a descrever e a interpretar o mundo à nossa volta, sejam sistemas naturais ou equipamentos tecnológicos. Com o corpo organizado de conhecimentos, a Física representa uma maneira de dialogar com o mundo, uma forma de “olhar o real”, que apresenta características peculiares, como a proposição de representações, modelos, leis e teorias com alto grau de abstração, sofisticação, consistência e coerência internas; o uso de metodologias e de linguagem próprias; a busca de relações de causa e de efeito. O **conhecimento conceitual** assim construído – que pode ser articulado com a Química e a Biologia – representa uma grande conquista da humanidade, cujo direito à aprendizagem deve estar garantido ao longo do processo de escolarização de crianças, jovens e adultos.

É fundamental que esse corpo organizado de conhecimentos seja percebido em sua dinamicidade histórica e social. Trata-se de um conhecimento que se desenvolveu – e se desenvolve – em diálogo constante com mundo natural e social,

em um processo marcado por rupturas e continuidades, no qual conhecimentos anteriores são, por vezes, ampliados, mas em muitos aspectos superados ao longo do tempo. A compreensão que hoje se tem do Universo e de seu surgimento e desenvolvimento, por exemplo, tem suas raízes mais remotas fortemente vinculadas às necessidades das primeiras grandes civilizações agrícolas e à confecção de calendários. Um entendimento da teoria cosmológica do Big Bang, assim como das leis do movimento, em geral, é mais rico e robusto, quando se tem em conta a perspectiva histórica, considerando-se a transição do sistema de mundo geostático ao heliostático, assim como todo o desenvolvimento histórico das noções de força e de inércia, por exemplo. Desde a ideia de “lugar natural”, em Aristóteles, passando pelo conceito de impetus da Idade Média, até chegarmos a Galileu, Descartes e Newton, no século XVII, a compreensão do movimento se deu com profundas transformações na forma de ver e compreender a realidade, refletindo-se nas construções conceituais que dela decorrem.

As dimensões histórica e social nos ajudam a perceber a Física como conhecimento produzido em um contexto complexo de relações e demandas sociais, em uma via de mão dupla como desenvolvimento tecnológico. Por exemplo, a criação dos princípios da Termodinâmica ocorreu a partir da necessidade de compreender e aprimorar o funcionamento das máquinas térmicas, no âmbito da Revolução Industrial, que se inicia na Inglaterra e se espalha pelo mundo, transformando-o radicalmente. Não foi diferente como estudo da Eletricidade e do Magnetismo que, posteriormente, inauguram todo um novo conjunto de fenômenos a ser interpretado, explorado, explicado e modelizado. A grande síntese de Maxwell, em fins do século XIX, incorporou uma série de conhecimentos sobre os fenômenos ópticos que havia à época, unificando campos antes considerados separados. As revoluções da virada do século XX trouxeram à tona limitações da chamada Física Clássica, seja no que se refere a fenômenos com velocidades próximas à da luz, seja no que diz respeito a fenômenos do mundo submicroscópico dos átomos e moléculas. Surgiram novos conceitos, leis e modelos, que vieram acompanhados de novas formas de ver e olhar o mundo que problematizaram noções já arraigadas de tempo, espaço, massa, energia, causalidade, determinismo, previsibilidade e representação. Parte do impacto da revolução quântica reflete-se até hoje na parafernália tecnológica que dependeu do desenvolvimento de uma sofisticada

eletrônica à base de semicondutores, cujos princípios de funcionamentos e baseiam em teorias da chamada Física Moderna.

A Física é uma construção humana e como tal deve ser apresentada. Isso implica considerar a história passada e presente, em suas diversas interpretações possíveis, como caminho para a compreensão da ciência como instituição social. Trabalhar na interlocução ciência, tecnologia e sociedade proporciona uma ampliação da percepção do papel da Física como saber social. O conhecimento proporcionado pela Física é social, o que traz implicações de natureza política, econômica e, também, ética. Saber Física e sobre a Física contribui para entender e posicionar-se criticamente frente a questões tecnocientíficas da atualidade que envolvem diversos interesses e grupos sociais. Se queremos ou não investir em mais usinas ou em submarinos nucleares (grifo nosso), é apenas um exemplo. O conhecimento físico na forma de leis, conceitos, grandezas e relações matemáticas só ganha significado se utilizado em problemáticas reais, tornando-se, assim, um instrumento de participação mais consciente e consistente na sociedade, propiciando, por exemplo, avaliar os efeitos biológicos da radiação em um exame de radiografia ou tomografia (grifo nosso) o uso de diferentes fontes de energia elétrica e seus efeitos ambiental e socioeconômico ou mesmo compreender o funcionamento de eletrodomésticos e os cuidados que devem ser tomados em sua instalação e utilização. A Física insere-se no contexto mais amplo da nossa cultura, podendo ser percebida também como cultura. O conhecimento científico dialoga com outros elementos da cultura representados, por exemplo, em produções da literatura, das artes plásticas, do teatro e da música. Assim, os contextos histórico e social, e também o contexto cultural, se constituem como cenários para a produção de sentido se significados para o conhecimento da Física e das outras ciências.

O conhecimento produzido pela Física não se desvincula das práticas associadas à sua produção, compreendidas como um conjunto de procedimentos, métodos e técnicas relativas à investigação, seja ela de natureza teórica ou experimental. O “fazer” ciência costuma ser associado a determinadas ações de ordem geral, tais como: observações e inferências; coleta, interpretação, análise e avaliação de dados; formulação de hipóteses; realização de previsões e testes; modelagem matemática. Não se deve caracterizar o “fazer ciência” como uma sequência rígida e linear de passos pré-estabelecidos. Atualmente, nas mais variadas subáreas da Física, uma diversidade de procedimentos é utilizada de acordo com os

diferentes objetos de estudo, equipamentos disponíveis e seus níveis de precisão e acuidade, técnicas de obtenção e de análise de dados, entre outros fatores. As metodologias diferem entre as áreas, que buscam internamente acordos que garantam uma crescente confiabilidade dos procedimentos e das técnicas adotado sem seus respectivos processos e práticas de investigação. O caráter coletivo e comunitário da prática da Física é algo que merece ser ressaltado.

A perspectiva investigativa deve estar presente na vivência escolar. Estimular a curiosidade das crianças e jovens, principalmente a partir de desafios e problemas abertos e contextualizados, contribui para romper com a visão caricata de que a Física seja um conjunto de fórmulas e exercícios de aplicação. Os/as estudantes da Educação Básica não são pequenos cientistas, mas a prática da investigação, envolvendo procedimentos relativos à observação, à formulação de hipóteses, à argumentação, à realização de experimentos, à comunicação de resultados, entre outros, colabora para o desenvolvimento de um “olhar científico” para o mundo, na medida em que permite uma apropriação do estilo de pensar e fazer da ciência. Um aspecto particularmente marcante da Física, com consequências importantes para o ensino, é a sua linguagem. Formas de representação como gráficos, tabelas, esquemas e diagramas são utilizados extensivamente e caracterizam os modos de registro de informações e a maneira de comunicar resultados. A Física incorpora a Matemática em sua interpretação da realidade, em suas leis e teorias, apresentadas desde a forma de equações simples até modelos matemáticos bastante complexos. A compreensão de uma lei física envolve, geralmente, tanto aspectos conceituais e de ordem qualitativa, como também aspectos matemáticos e de ordem quantitativa.

Alguns termos e expressões usados na Física são, muitas vezes, encontrados em nossa linguagem cotidiana com sentidos e significados distintos, o que acaba gerando dificuldades de entendimento. Palavras como massa, energia, força, matéria, calor, entre outros inúmeros exemplos, evidenciam o caráter mais restritivo, particular e contextual que os conceitos da Física apresentam. Nesse aspecto, faz-se necessário estar atento ao caráter polissêmico da linguagem, para que diferenças de significado sejam apontadas e não se tornem obstáculos à aprendizagem. Compreender, por exemplo, que o “calor” da Física não significa a mesma coisa que o “calor” da linguagem comum e buscar usar o conceito correto no contexto apropriado. O diálogo com a cultura científica deve ter como base os conhecimentos

que os/as estudantes já trazem, esclarecendo diferenças de significado para uma apropriação mais adequada da linguagem da Física, uma vez que aprender Física passa, necessariamente, pela compreensão da linguagem que lhe é própria.

As várias dimensões do conhecimento físico usadas nesta apresentação se constituem nos eixos estruturantes escolhidos para orientar o currículo deste e dos demais componentes da área. Assim, devemos levar em conta o conhecimento conceitual, os contextos histórico, social e cultural, os processos e as práticas de investigação, e a linguagem, ao pensarmos no currículo de Ciências da Natureza para a Educação Básica. Esses eixos nos ajudam a observar elementos comuns da Física, da Química e da Biologia que devem ser explorados no desenvolvimento dos currículos, assim como na busca do tratamento interdisciplinar de temas. Também evidenciam diferenças e especificidades que merecem ser preservadas nessa etapa de escolarização, permitindo que as diversas Ciências da Natureza lancem seus múltiplos e complementares olhares para os fenômenos e propiciem aos/às estudantes da Educação Básica um diálogo inteligente com o mundo à nossa volta.

### **2.3. Unidades do Conhecimento (UCF)**

Procurando estabelecer um diálogo com as práticas curriculares e escolares já estabelecidas, mas percebendo a importância de se situarmos conhecimentos físicos a partir da própria natureza dos fenômenos que buscam explicar, propõem-se seis **unidades de conhecimento (UCF)** para a organização dos currículos de **Física**.

#### **UC1F: Movimentos em sistemas e processos naturais e tecnológicos**

Nesta unidade são apresentados conhecimentos da Física que auxiliam a responder perguntas como: por que estudar movimentos? Se não ocorrer mudança nos movimentos, como marcar a passagem do tempo? Como conceber o espaço? As mudanças nos movimentos ocorrem de qualquer forma? Existem leis de conservação que informam quais mudanças nos movimentos não podem ocorrer, seja na dimensão do cotidiano, do infinitesimal ou do astronômico. O estudo dessas leis e a compreensão das transformações na percepção do tempo e espaço, decorrente da evolução histórica dos meios de transporte e dos processos de utilização da potência mecânica, são temas desta unidade.

#### **UC2F: Energia em sistemas e processos naturais e tecnológicos**

Nesta unidade são apresentados conhecimentos da Física que contribuem para responder perguntas como: por que estudar energia? O uso da energia tem

aumentado vertiginosamente no último século e a sua demanda ainda continua crescendo, exigindo mais produção, trazendo, com isso, consequências como desequilíbrios ambientais e problemas econômicos e sociais. Para um posicionamento frente a essa problemática do uso da energia, são necessários o conhecimento das propriedades e dos processos térmicos, o funcionamento de máquinas térmicas com seus ciclos de operação e eficiência, o papel histórico das máquinas térmicas nas mudanças da relação de trabalho, das formas de organização social e da visão de mundo.

### **UC3F: Eletromagnetismo em sistemas e processos naturais e tecnológicos**

Nesta unidade são apresentados conhecimentos da Física que auxiliam na compreensão da vida humana contemporânea, inconcebível sem a eletricidade em motores, em lâmpadas e em sistemas de comunicação e informação. Para isso, conceitos e princípios do eletromagnetismo envolvidos na geração, transmissão e utilização da eletricidade são fundamentais. Esses mesmos conceitos e princípios contribuem para a compreensão do funcionamento de uma série de equipamentos tecnológicos presentes no cotidiano. No último meio século, muitos equipamentos incorporaram semicondutores e lasers, em substituição a outros dispositivos de caráter clássico, como as velhas válvulas termiônicas. Por isso, essa unidade também trata de sua constituição quântica.

### **UC4F: Comunicação e informação em sistemas e processos naturais e tecnológicos**

Nesta unidade são apresentados ou empregados conhecimentos da Física que são importantes para a compreensão dos sistemas e dos processos de comunicação e informação, pelo registro e processamento de dados, que são parte da cultura humana, desde as escritas em papiros até os atuais CDs ou computadores; desde as formas de comunicação por sinais sonoros e gestuais até as modernas técnicas de transmissão de informações via satélite. A compreensão e o uso adequado desses sistemas naturais e desses equipamentos tecnológicos fazem parte desta unidade de conhecimento que requer o estudo dos conceitos da Física ondulatória e quântica.

### **UC5F: Matéria e radiação em sistemas e processos naturais e tecnológicos**

Nesta unidade são apresentados conhecimentos da Física que auxiliam a compreensão do uso das radiações em variadas atividades na atualidade, como em

diagnósticos médicos, como radiografia e tomografia, na produção de energia com base em processos nucleares, ou nas guerras com as bombas de fissão e fusão nuclear. Isso depende de responder diferentes questões: no que diferem essas radiações? Como elas são produzidas? Como as diferentes radiações interagem com a matéria? Do que a matéria é constituída? Quais são os efeitos biológicos e ambientais das diferentes radiações? Esta unidade estuda as propriedades das radiações e da matéria, bem como suas interações (grifo nosso).

#### **UC6F: Terra, Universo e vida**

Nesta unidade são apresentados conhecimentos da Física que contribuem para responder perguntas como: qual a idade do Universo? Qual o tamanho do Universo? O que existe no Universo? As galáxias, as estrelas e os planetas sempre existiram ou se formaram em algum momento na história do Universo? Se houve uma gênese, como ocorreu? Como nascem e morrem as estrelas? Quem somos nós e onde nos situamos no Universo conhecido? Existe vida fora da Terra? Essas são algumas das questões abordadas nesta unidade, que traz como principal referência o modelo cosmológico do Big Bang.

## **2.4 Primeiro Ano do Ensino Médio**

### **UC1F: Movimentos em Sistemas e Processos Naturais e Tecnológicos.**

**CNFI1MOA001:** Compreender e utilizar adequadamente as leis da conservação da energia (escalar) e da quantidade de movimento linear e angular (vetorial) para prever e avaliar variações de movimentos e identificar transformações de energia em sistemas e processos naturais e tecnológicos.

Exemplo: Conservação da quantidade de movimento linear na interação entre duas bolas de bilhar, entre dois veículos, entre a água e um nadador, entre um astronauta e a nave espacial, na queda de um objeto na superfície da Terra, na colisão de partículas em aceleradores; relação entre a lei da conservação da quantidade de movimento e as leis de Newton; conservação do momento angular em situações em que o torque é zero: equilíbrio de ciclista, movimento de um helicóptero, dos planetas em torno do Sol, satélites de comunicação ao redor da Terra; transformações e conservação da energia em situações variadas, como a freada de um automóvel, um salto de bungee jumping, brinquedos de parques de diversão, Sol e transformação da energia nuclear em radiação (grifo nosso).

**CNFI1MOA002:** Utilizar adequadamente o modelo de atração gravitacional para explicar as interações astronômicas, identificando e estimando a ordem de grandeza de massas, distâncias e tempos em situações nas quais essa interação é relevante e significativa para a explicação dos fenômenos.

Exemplo: Movimento dos satélites artificiais e da Lua em torno da Terra, dos planetas do Sistema Solar, dos cometas e asteroides, das galáxias; comparação de tamanhos e distâncias do cotidiano e do Universo: tamanho relativo dos planetas entre si, distância Terra-Lua em comparação com distância à estrela mais próxima e com 1ano-luz; massa de um ser humano e do planeta Terra; comparação do tempo de vida média do ser humano com o tempo de formação do Universo e do planeta Terra.

**CNFI1MOA003:** Reconhecer máquinas e sistemas mecânicos que ampliam forças ou velocidades, identificando os principais elementos que os compõem e as leis ou princípios físicos que proporcionam a explicação desses resultados.

Exemplo: Conservação do trabalho em ferramentas, sistema de roldanas, catraca de bicicleta, engrenagens de sistemas mecânicos; princípio de Pascal em macaco hidráulico.

**CNFI1MOA004:** Reconhecer os impactos e mudanças socioculturais da evolução dos meios de transporte e da evolução dos processos de utilização da potência mecânica, assim como as diferenças e as mudanças socioculturais na compreensão do espaço e do tempo.

Exemplo: Infográfico das velocidades dos meios de transporte no período entre os anos de 1500 a 2000 e análise dos tempos necessários para um determinado deslocamento e suas consequências socioculturais; infográfico da potência de veículos de transporte e análise da quantidade de carga a ser transportada; noções de espaço e tempo em diferentes culturas; desigualdades quanto ao acesso e à utilização dos meios de transporte coletivo; impactos ambientais dos diferentes meios de transporte; ampliação de forças na construção civil com a utilização de engrenagens, roldanas; moinhos e rodas d'água; teares na revolução industrial; máquinas mecânicas no setor produtivo atual.

**CNFI1MOA005:** Compreender os contextos históricos, sociais e culturais e os problemas que levaram à produção de descrições e explicações sobre o movimento, percebendo as mudanças de significados dos conceitos ao longo do

tempo, bem como o caráter coletivo dessa produção e a existência de controvérsias e disputas.

Exemplo: Transformação da visão de mundo geocêntrica para a heliocêntrica; o contexto histórico do Renascimento e da expansão marítima europeia e a síntese newtoniana; as reformas do calendário ao longo dos séculos; o movimento não inercial em Aristóteles, a física medieval do impetus e a construção da noção de inércia da mecânica clássica; os conceitos de “lugar natural”, na física aristotélica, e de força, na mecânica de Newton; os processos movidos contra Galileu pela Igreja durante o século XVII; descrição das constelações em diferentes culturas dos hemisférios Norte e Sul (como a Europa atual, a Babilônia da Antiguidade e as comunidades indígenas da Amazônia).

**CNFI1MOA006:** Estimar valores de uma grandeza que caracteriza um movimento, realizando medidas, e determinar experimentalmente grandezas e relações entre elas, investigando arranjos e procedimentos adequados.

Exemplo: Velocidade média de um entregador de jornal; distância média percorrida por um taxi ou motoboy em um dia; determinar a aceleração da gravidade local, utilizando o movimento de um pêndulo simples, o movimento de uma esfera em uma canaleta inclinada ou a queda de um objeto com sensores que medem tempos da ordem de décimos de segundo.

**CNFI1MOA007:** Investigar as várias situações de riscos envolvendo altas velocidades, agrupá-las segundo critérios de mesma natureza e para cada grupo utilizar argumentos científicos para propor soluções que minimizem os riscos.

Exemplo: Cinto de segurança, airbag, material com coeficiente de restituição pequena; aumento da energia de movimento com o quadrado da velocidade [ $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ ]; tempo de reação humana não desprezível; força de atrito na frenagem e na mudança de direção da trajetória de móveis.

**CNFI1MOA008:** Verificar qualitativamente a conservação da energia, investigando arranjos experimentais e procedimentos factíveis, bem como a conservação da quantidade de movimento, formulando hipóteses plausíveis sobre movimentos antes e depois de colisões ou interações de objetos.

Exemplo: Movimento de um pêndulo simples, de uma esfera descendo em uma canaleta a partir de diferentes alturas; vários tipos de brinquedos em parque de diversões, como montanha russa, looping; dados reais dos autos de colisão de

veículos; choque de bolas de bilhar; interação entre um carro e a Terra ao iniciar um movimento.

**CNFI1MOA009:** Representar ou obter informações de gráficos de grandezas (escalares e vetoriais) e suas variações no tempo ou no espaço, assim como de tabelas que relacionam grandezas que caracterizam movimentos de objetos.

Exemplo: Gráfico do deslocamento em função do tempo e da variação da velocidade em função do tempo; representação vetorial das quantidades de movimento de dois corpos antes e depois de uma interação; tabela de valores de força em função de diferentes deslocamentos; tabela de período de revolução e raio médio da órbita dos planetas do Sistema Solar.

**CNFI1MOA010:** Reconhecer o uso de conceitos e modelos da Física, associados ao estudo do movimento, em diferentes manifestações culturais e textos disponíveis no cotidiano, tais como jornais, revistas, TV, músicas, blogs e sítios da Internet, assim como em manuais de equipamentos tecnológicos.

Exemplo: Reportagens sobre exploração planetária, existência de vida fora da Terra, radiação solar, aceleradores de partículas, entre outros; textos de peças teatrais (como Galileu Galilei, de Brecht); letras de música (como Tempo Rei, de Gilberto Gil, ou Astronauta, de Gabriel Pensador e Lulu Santos); literatura (como Todas as Cosmicômicas, de Ítalo Calvino, ou poesias de cordel); manuais de automóveis.

**CNFI1MOA011:** Elaborar e apresentar relatórios de experimentos e/ou de pesquisas teóricas investigativas, utilizando linguagem científica adequada e meios atuais de comunicação e informação.

Exemplo: Apresentação de dados em forma de tabelas e gráficos; estruturação textual contendo elementos como objetivos, justificativas, procedimentos, resultados, conclusões e considerações; comunicação de resultados em formato digital, como uso de vídeos, apresentações multimídia; trocas de informação sobre experimentos e pesquisas utilizando redes sociais, blogs.

## **UC2F: Energia em Sistemas de Processos Naturais e Tecnológicos.**

**CNFI1MOA012:** Reconhecer os diferentes processos de mudança de temperatura presentes em sistemas naturais, utensílios domésticos e processos tecnológicos (condução, convecção e irradiação), descrevendo-os a partir dos modelos explicativos associados a cada um deles.

Exemplo: Aquecimento do alimento sobre a chama de fogão a gás; funcionamento de aparelhos de ar condicionado; funcionamento de fornos de micro-ondas; aquecimento da Terra pelo Sol; efeito estufa; fenômenos naturais atmosféricos como nevoeiros, geadas, frentes frias, inversões térmicas, El Niño.

**CNFI1MOA013:** Utilizar corretamente as propriedades térmicas das substâncias (como condutividade, calor específico, calor latente de mudança de estado físico, coeficiente de dilatação, calor de combustão) na análise de problemas que envolvem fenômenos térmicos, e explicar tais propriedades por meio do modelo cinético-molecular da matéria.

Exemplo: Função do cobertor em dias de baixa temperatura; a sensação de “frio” em pisos cerâmicos; ciclo da água; ciclo do ar; avaliação comparativo do custo do etanol e da gasolina; condutividade como a interação das moléculas, em que quanto maior a interação, mais eficiente é a troca de calor; calor de combustão como a energia de ligação ou energia potencial de interação entre átomos das moléculas, em que quanto maior a energia potencial maior será a energia cinética que resulta em temperatura maior; dilatação como o aumento da distância média entre as moléculas como aumento da temperatura.

**CNFI1MOA014:** Compreender e explicar o funcionamento de máquinas térmicas reais, seus ciclos de operação, eficiência e rendimento, considerando os princípios da termodinâmica.

Exemplo: Motor a combustão interna; turbina a vapor; refrigerador.

**CNFI1MOA015:** Reconhecer os instrumentos e os processos de medição de temperatura ao longo da história da tecnologia, compreendendo a importância das medidas de temperaturas e reconhecendo os impactos sociais de sua evolução.

Exemplo: Evolução dos termômetros desde o termoscópio de Galileu até os termômetros digitais atuais, identificando semelhanças e diferenças entre eles e o avanço do alcance das amplitudes de medidas; diferentes processos de medição de temperatura, como na indústria (alto-fornos, metalurgia) e na astronomia (temperaturas do Sol e de estrelas).

**CNFI1MOA016:** Identificar as fontes de energia na Terra e o caráter irreversível de suas transformações, bem como a utilização dessas fontes e suas consequências ambientais, climáticas e sociais, posicionando-se em relação à necessidade de soluções adequadas para a sustentabilidade do planeta Terra.

Exemplo: Sol e geotermia como fontes primárias da energia na Terra; porcentagem de energia do Sol que atinge a superfície da Terra e as transformações que ocorrem ao atingi-la; formação de fontes de energia como petróleo e carvão mineral (combustíveis fósseis); usinas hidroelétricas, termoelétricas e nucleares (grifo); energia solar (placas) e eólica; biomassa; comparação da matriz e energética e consumo de vários países.

Consequências como a intensificação do efeito estufa; mudanças na camada de ozônio; chuva ácida; ilhas de calor; aquecimento global; propostas de aumento de fontes renováveis de energia, de acordo com as possibilidades e contextos de cada região.

**CNFI1MOA017:** Compreender o desenvolvimento das máquinas térmicas e a importância da Primeira Revolução industrial, assim como a relação desses eventos com as explicações teóricas dos fenômenos térmicos.

Exemplo: As primeiras máquinas térmicas para retirada de água de minas de carvão; máquinas térmicas de James Watt; locomotivas e navios a vapor; impactos e transformações sociais causados pelas máquinas térmicas, como o aumento da produção de bens, migrações do campo para as cidades e exploração do trabalho; problematização da relação ciência-tecnologia, em virtude do desenvolvimento teórico posterior das leis da termodinâmica face ao desenvolvimento das práticas e técnicas.

**CNFI1MOA018:** Reconhecer a existência de diferentes modelos explicativos dos fenômenos térmicos ao longo da história e a existência de controvérsias e disputas, assim como o processo histórico da unificação entre trabalho mecânico e calor na construção do princípio da conservação da energia.

Exemplo: Teoria do flogisto para a combustão; calor como substância (calórico) ou associado ao movimento de partículas; equivalente mecânico do calor nos trabalhos de James Joule; caráter coletivo, complexo e multidisciplinar do desenvolvimento do conceito unificador de energia no século XIX.

**CNFI1MOA019:** Medir, estimar e calcular valores de grandezas associadas a fenômenos térmicos, em ambientes naturais ou tecnológicos, a partir de fontes confiáveis e escolhas de instrumentos e procedimentos adequados.

Exemplo: Infográfico de temperaturas, da mais baixa para a mais alta, considerando temperatura mais baixa em ambientes naturais, como o pico do Himalaia, e ambientes tecnológicos, como interior de um freezer, temperatura

ambiente do dia a dia, temperatura do interior da Terra, da superfície do Sol, no interior de um forno elétrico, em um alto forno siderúrgico; comparação da eficiência das fontes de calor a partir do calor de combustão dos principais combustíveis; análise da diferença de custos entre o uso do álcool ou da gasolina, ou da gasolina e do diesel; consumo e gasto energético de uma pessoa, a partir de tabelas de energia de alimentos e de energia necessária para realização das principais atividades do cotidiano.

**CNFI1MOA020:** Construir protótipos ou equipamentos simples, investigando arranjos e procedimentos adequados e compreendendo os fenômenos térmicos envolvidos em cada parte do arranjo.

Exemplo: Aquecedor solar caseiro, observando à altura do reservatório de água aquecida superior ao das placas absorvedoras de luz solar, a cor preta dos tubos absorvedores, a cobertura de vidro sobre os tubos para aumentar a eficiência; fogão solar, observando a geometria envolvida em sua construção; protótipo de máquina térmica similar à de Heron (eolípila), observando a geometria e os processos de troca de calor envolvidos.

**CNFI1MOA021:** Representar ou obter informações de gráficos de grandezas térmicas e suas variações em função de uma variável, assim como de tabelas que relacionam grandezas que caracterizam estados térmicos ou propriedades térmicas de substâncias.

Exemplo: Do gráfico QxT – quantidade de calor recebida por uma substância e o aumento correspondente de sua temperatura – extrair informação sobre mudança de estado físico, determinar o valor do calor latente de mudança de fase ou o valor do calor específico da substância em cada estado; do gráfico PxV – variação da pressão em função da variação do volume da substância de máquina térmica – extrair informações sobre a natureza das transformações térmicas que ocorrem durante o ciclo; do diagrama de fase PxT de uma substância, extrair o estado físico para uma dada temperatura e pressão; de gráficos que relacionam consumo de energia e IDH de uma região ou país, extrair informações e formular hipóteses sobre diferenças regionais e globais; tabela com valores de calor de combustão para vários tipos de combustíveis; tabela com valores de coeficiente de condutividade térmica, de calor específico, de temperatura de fusão, de temperatura de ebulição, de calor latente de mudança de estado de substâncias.

## 2.5. Segundo Ano do Ensino Médio

### **UC3F: Eletromagnetismo em Sistemas e Processos Naturais e Tecnológicos.**

**CNFI2MOA001:** Reconhecer as propriedades elétricas e magnéticas dos diferentes materiais, interpretando-as a partir de conceitos e modelos físicos apropriados e identificando grandezas fundamentais que as caracterizam.

Exemplo: Condutibilidade e resistividade de metais, não metais, sólidos, líquidos e gases; modelo de corrente elétrica; relações entre propriedades elétricas e magnéticas e estrutura atômico-molecular dos materiais; geometria de condutores e isolantes; materiais semi e supercondutores; modelo de ímãs e inseparabilidade dos polos magnéticos; permeabilidade magnética.

**CNFI2MOA002:** Compreender e explicar o funcionamento de circuitos elétricos simples a partir de conceitos, leis e princípios do eletromagnetismo.

Exemplo: Relações entre tensão, corrente, resistência, potência dissipada, espessura e comprimento dos fios em um circuito; corrente contínua e alternada; circuitos em uma instalação residencial; chuveiros, aquecedores, lâmpadas e outros equipamentos do cotidiano; curto-circuito e choque elétrico.

**CNFI2MOA003:** Compreender os modelos de campo elétrico e de campo magnético e utilizá-los adequadamente para interpretar fenômenos nos quais a interação eletromagnética é relevante/significativa.

Exemplo: Campo magnético da Terra e de um ímã; raios e para-raios; relação entre forças e campos; comportamento de cargas elétricas em campos magnéticos; auroras; bússolas; orientação de animais (como migração de aves).

**CNFI2MOA004:** Compreender as relações entre os campos elétricos e magnéticos a partir de suas variações no tempo e no espaço, identificando os princípios de funcionamento de equipamentos e sistemas.

Exemplo: Bobinas e eletroímãs; motores, geradores, capacitores, indutores e transformadores; dínamo de bicicletas; pilhas e baterias.

**CNFI2MOA005:** Compreender a estrutura da matéria de um semicondutor, sua presença em componentes eletrônicos e suas propriedades funcionais nos equipamentos contemporâneos.

Exemplo: Bandas de energia: de valência e de condução; GAP de bandas; dopagem de materiais para produção de semicondutores – diminuição do GAP de

energia; diodos semicondutores para retificação de corrente e chaveamento de circuito elétrico; LED (diodo emissor de luz).

**CNFI2MOA006:** Compreender os princípios físicos envolvidos na descrição e explicação de lasers, assim como os diversos usos desse tipo de luz em equipamentos e sistemas.

Exemplo: Luz monocromática, coerente e colimada; lasers de diferentes materiais, comprimentos de onda e potência; usos na medicina (cirurgias), na odontologia (substitui o “motorzinho”), na indústria (corte de metais), no comércio (leitores de código de barras, fibras ópticas, DVDs, CDs), entre outros.

**CNFI2MOA007:** Reconhecer o impacto do desenvolvimento do eletromagnetismo no âmbito da chamada Segunda Revolução Industrial, assim como as transformações sociais e culturais decorrentes desse evento.

Exemplo: Aumento da potência mecânica útil com os motores; automação industrial; usinas hidrelétricas e termelétricas; impactos: ambientais, na produção de alimentos, nos meios de transporte, nos hábitos e nos modos de vida das sociedades.

**CNFI2MOA008:** Reconhecer a existência de diferentes modelos explicativos para os fenômenos elétricos e magnéticos ao longo da história e a existência de controvérsias e disputas, assim como o processo histórico de unificação da eletricidade como magnetismo.

Exemplo: Magnetismo na Antiguidade; bússola; modelo de um fluido e de dois fluidos elétricos; eletricidade como fluido versus noção de cargas elétricas; Galvani e eletricidade animal; experimentos de Franklin, Gray, Du Fay, Volta, Biot, Oersted, Coulomb, Faraday, Hertz e seus modelos e explicações dos fenômenos; ondas eletromagnéticas e a unificação de Maxwell.

**CNFI2MOA009:** Construir equipamentos simples e realizar experimentos, investigando arranjos e procedimentos adequados e compreendendo os fenômenos elétricos e magnéticos envolvidos em cada parte do arranjo.

Exemplo: Atração e repulsão entre ímãs; partição de um ímã; linhas de campo magnético com limalha de ferro; deflexão de bússola com ímã e com um fio com corrente; eletricidade estática a partir do atrito de diferentes materiais; força de Lorentz e motor elétrico simples com fios, pilhas e ímã; circuitos elétricos simples e medições de grandezas com amperímetro, voltímetro e ohmímetro.

**CNFI2MOA010:** Pesquisar o funcionamento de diferentes tipos de usinas elétricas, assim como a produção, a distribuição e o consumo de energia elétrica e seus impactos ambientais e sociais.

Exemplo: Usinas hidrelétricas, termelétricas, nucleares, eólicas e solares; rede de transmissão; consumo em residências, indústrias e variações sazonais; matriz energética brasileira; novas tecnologias de aproveitamento de energia elétrica com o menor desperdício possível; impactos ambientais: formação de represas nas hidrelétricas, desequilíbrio de fauna e flora, lixo atômico (grifo nosso), emissão de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>.

**CNFI2MOA011:** Construir maquetes, investigando arranjos e procedimentos adequados e compreendendo os fenômenos eletromagnéticos envolvidos em cada parte do arranjo.

Exemplo: Maquetes de usinas hidrelétricas e transmissão de energia; instalação elétrica residencial.

**CNFI2MOA012:** Representar ou obter informações de gráficos e tabelas, assim como compreender símbolos e códigos utilizados para identificar grandezas elétricas e magnéticas e suas variações.

Exemplo: Tabela com propriedades magnéticas de materiais diamagnéticos, paramagnéticos e ferromagnéticos e suas aplicações; gráfico de tensão x corrente em circuitos; tabela de consumo de energia elétrica em vários países; representação icônica de resistência, fonte, sentido de corrente elétrica; código de cores dos resistores.

#### **UC4F: Comunicação e Informação em Sistemas e Processos Naturais e Tecnológicos.**

**CNFI2MOA013:** Identificar os meios de comunicação utilizados na atualidade e organizá-los, utilizando critérios baseados em propriedades físicas como a natureza da propagação da informação.

Exemplo: Propagação de som – onda mecânica: fala, música etc.; propagação de luz – onda eletromagnética: linguagem corporal, dança, libras; propagação de som e luz: onda mecânica e onda eletromagnética: televisão, telefone celular, cinema; contato mecânico – força eletromagnética: braile.

**CNFI2MOA014:** Utilizar corretamente as propriedades do som na descrição e na explicação de fenômenos acústicos.

Exemplo: Relação entre: frequência do som e da fonte, velocidade e meio de propagação, altura e frequência do som, intensidade e energia da onda sonora; timbre e características dos instrumentos (formas, materiais etc.); eco ou reverberação: reflexão do som e tempo de ida e voltado som; ressonância: frequência do som igual à frequência natural do receptor e ampliação do som com aumento de intensidade; efeito Doppler; fala e audição: sistemas da fonação e audição humanas.

**CNFI2MOA015:** Reconhecer a função de equipamentos óticos, identificando a formação de imagens e caracterizando os fenômenos luminosos envolvidos.

Exemplo: Equipamentos óticos para ver, melhorar e ampliar a visão, como óculos, telescópios e microscópios; propagação retilínea da luz; reflexão da luz em espelhos planos e esféricos e seus usos no cotidiano; refração (lentes, arco-íris, nascer e pôr-do-sol); relação entre velocidade de propagação, frequência e comprimento de onda.

**CNFI2MOA016:** Identificar a luz visível no espectro das ondas eletromagnéticas, diferenciando suas cores de acordo com as frequências e reconhecer a composição das três cores primárias da luz (vermelho, verde e azul) no sistema de percepção das cores.

Exemplo: Função dos cones (permite visão das cores) e bastonetes (visão em branco e preto) na retina; telas coloridas de monitores de computador, de televisão, de celular; luz branca de led; disco de Newton.

**CNFI2MOA017:** Compreender os processos físicos envolvidos nos diferentes sistemas de registro e transmissão de informação sob a forma de sons e imagens, em ondas em transmissão aberta, ou laser em cabos de fibras óticas.

Exemplo: Registro de som e imagens em CDs, DVDs e pen drives, e sua transmissão em antenas, satélites, cabos ou fibras óticas; GPS; megafones; diferenças entre ondas de rádio AM e FM.

**CNFI2MOA018:** Reconhecer o desenvolvimento dos meios para registrar, armazenar e processar as informações, contextualizando histórica e socialmente as formas de comunicação, seja por sinais sonoros e gestuais, até modernas técnicas de comunicação por satélite.

Exemplo: Armazenamento e processamento de informações: cerâmicas, tábuas (sulcos – visão), papiros, livros (tinta – visão), discos de vinil (sulcos –

leitura mecânica), fita magnética (depósito de material magnético – leitura eletromagnética), CD, computador; infográfico temporal indicando a evolução dos meios de comunicação, a velocidade de transmissão da informação e a avaliação de seus impactos sociais, econômicos, culturais e políticos.

**CNFI2MOA019:** Realizar experimentos e confeccionar equipamentos simples, utilizando arranjos experimentais e procedimentos factíveis, para investigar fenômenos acústicos ou ópticos.

Exemplo: Iluminação de objetos de cores diferentes com diferentes cores de luz, evidenciando que as cores dos objetos dependem das cores das luzes que os iluminam; câmera escura de orifício; periscópio; dispersão das cores com prismas ou CDs; tubos sonoros; confecção de instrumentos musicais.

**CNFI2MOA020:** Investigar questões de interesse e relevância social relativas à comunicação e à informação, identificando problemas e apontando soluções.

Exemplo: Poluições sonora, visual e eletromagnética; níveis de ruído e consequências para a saúde física e mental; recomendações da OMS – Organização Mundial da Saúde para radiofrequências; inclusão social de pessoas surdas, cegas e com baixa visão: equipamentos de apoio e soluções adotadas.

**CNFI2MOA021:** Representar grandezas, utilizando códigos, símbolos e nomenclatura específicos da Física no estudo do som, da imagem e da informação.

Exemplo: Bit, bytes e seus múltiplos (quilobytes, megabytes etc.), pixel; Hz (frequência), B e dB (intensidade sonora - Bel e decibel),  $\lambda$  (comprimento de onda); T (período).

**CNFI2MOA022:** Reconhecer a presença de conceitos e modelos da Física, relacionados ao estudo do som e da luz, em diferentes manifestações culturais presentes no cotidiano.

Exemplo: Técnicas de sonorização e iluminação no cinema e no teatro; cinema 3D; geometria de anfiteatros e acústica; faixas de frequência de rádios AM e FM; instrumentos musicais e suas diferenças; manuais de equipamentos tecnológicos como TVs, celulares, aparelhos de som portáteis.

## 2.6. Terceiro Ano do Ensino Médio

### UC5F: Matéria e Radiação em Sistemas e Processos Naturais e Tecnológicos.

**CNFI3MOA001:** Identificar os diferentes tipos de radiações presentes na vida cotidiana, associando suas características físicas como frequência, energia e comprimento de onda às diferentes fontes e usos.

Exemplo: Construção do espectro eletromagnético em função da frequência, comprimento de onda e energia, analisando-o qualitativamente; usos: infravermelho – controle remoto de TV; ondas de rádio – rádio AM/FM; micro-ondas – telefonia celular; iluminação – luz visível; raio X – radiografias; raios gama: diagnósticos e procedimentos em medicina, esterilização de alimentos, gamagrafia em peças metálicas, autenticidade de obras de arte, datação geológica (grifo nosso); fontes: frequência de rádio ao ultravioleta–associação da energia do fóton com a frequência/comprimento de onda da radiação, associação da energia do fóton com a diferença de energia de sua fonte geradora: entre níveis / subníveis atômicos de elétrons; raio X – desaceleração de elétrons; raios gama: associados às transições internas do núcleo atômico (grifo nosso).

CNFI3MOA002: Desenvolver modelagem do núcleo atômico em seus componentes básicos (prótons e nêutrons), apresentando a força nuclear forte como responsável por sua coesão, e processos de decaimento envolvendo a força nuclear fraca (grifo nosso).

Exemplo: Conceituação de núcleos estáveis e instáveis, observando a tabela periódica dos elementos, seguida da discussão dos diferentes decaimentos e transmutações e das famílias ou séries de substâncias resultantes (grifo nosso).

CNFI3MOA003: Identificar a radiação alfa e a radiação beta, em sua natureza corpuscular, em sua origem em processos nucleares e em suas aplicações energéticas, industriais e médicas (grifo nosso).

Exemplo: Compreensão das alfas como núcleos de Hélio e das betas como elétrons de alta velocidade, revelando os processos que os produzem em associação com as interações nucleares fortes e fracas. Conceituação das diferentes capacidades de penetração dessas radiações e relação com seus usos (grifo nosso).

**CNFI3MOA004:** Reconhecer a natureza dual da radiação e da matéria, caracterizando-as tanto como onda quanto como partícula, e associar corretamente a interação com a natureza corpuscular e a propagação com a natureza ondulatória.

Exemplo: Máquina fotográfica: passagem da luz pelo orifício e lentes – propriedades de onda; formação da imagem – propriedade de partícula; exame radiológico: raio X do aparelho ao corpo humano – propriedades de onda; interação com a matéria – propriedade de partícula; difração de elétrons (grifo nosso).

**CNFI3MOA005:** Reconhecer a evolução histórica dos modelos explicativos da matéria, explicitando seus principais elementos constituintes e relacionando os modelos com diferentes aspectos sociais, culturais e políticos de cada época.

Exemplo: Átomo grego; modelos de Dalton e de Rutherford; modelos de Bohr e de Pauli; modelo dos quarks, leptons e partículas mediadoras; caráter contínuo ou descontínuo da matéria ao longo da história (horror ao vácuo em Aristóteles, universo pleno de matéria em Descartes, atomismo em Newton e no século XIX, “explosão” de partículas elementares no século XX); contribuição de César Lattes nas pesquisas em raios cósmicos e física de partículas; busca pela transmutação de elementos da Alquimia no desenvolvimento da química e da física nuclear que resulta na bomba atômica (grifo nosso).

**CNFI3MOA006:** Analisar os vários eventos envolvendo o uso da energia nuclear, desde a explosão de bombas atômicas, o vazamento de usinas de geração de energia até descartes de material radioativo. Explicar os perigos do uso dessa energia, utilizando modelos explicativos da ciência, posicionando-se sobre o seu uso adequado e avaliando benefícios e malefícios (grifo nosso).

Exemplo: Bombas atômicas de Hiroshima e Nagasaki; acidentes em usinas nucleares – Three Mile Island, Chernobyl, Fukushima; acidente radiológico de Goiânia; lixo atômico e problemas de descarte; características: altas energias (fissão nuclear); meia vida que depende do material (queda exponencial da atividade radioativa); questão ambiental de baixo ou longo alcance temporal e espacial (grifo nosso).

**CNFI3MOA007:** Planejar procedimentos adequados e investigar as diferentes formas de interação onda-matéria, em função do material e do comprimento de onda da radiação. Explicar os resultados observáveis, utilizando modelos científicos explicativos.

Exemplo: Materiais transparentes como vidro ou água; semitransparentes como óculos escuros; opacos como tela de metal ou papelão; creme de protetor solar; radiação: luz UV, luz visível, infravermelho, rádio de diferentes comprimentos de onda; fenômenos observáveis: absorção, penetração/atenuação, reflexão, refração. Igualdade da energia do fóton da radiação e GAPs de energia dos átomos do material para ocorrer a interação da radiação com a matéria - transferência de energia do fóton para a matéria.

**CNFI3MOA008:** Investigar os usos das radiações ionizantes (grifo nosso) e não ionizantes em vários âmbitos da vida cotidiana, identificando os benefícios e malefícios de cada tipo de uso e sugerindo procedimentos para usos adequados.

Exemplo: Luz solar – absorção de vitamina D – uso de cremes protetores solares e/ou limites para exposição às radiações; luz de laser – procedimentos cirúrgicos–uso correto das dosagens; lâmpadas UV germicidas – uso correto de protetores; raio X e radiação nuclear – radiações ionizantes; dosagens de radiação; formas de proteção e minimizar as dosagens de radiação dos operadores desses equipamentos (grifo nosso).

**CNFI3MOA009:** Utilizar unidades científicas corretas para expressar grandezas que caracterizam radiações ou como eles interagem com a matéria (unidades de medidas) (grifo nosso).

Exemplo: No SI (sistema internacional) - Atividade radioativa (A): bequerel (Bq); Dose absorvida (D):gray (Gy=100rad); Dose de radiação: sievert (Sy = 100 rem); Energia em elétron volt (eV), determinada por  $E = hf$  (h = constante de Plank e f = frequência da radiação) (grifo nosso).

**CNFI3MOA010:** Construir ou obter informações de gráficos e tabelas que relacionam grandezas de radiações e de imagens radiológicas (grifo nosso).

Exemplo: Representação gráfica do decaimento radioativo; curvas de absorção de radiação em função do comprimento de onda e/ou da densidade do material; curvas de emissão de radiação em função do comprimento de onda; leitura qualitativa de radiografias: regiões claras x escuras em uma radiografia, identificação de pinos metálicos, ossos (grifo nosso).

## **UC6F: Terra, Universo e Vida.**

**CNFI3MOA011:** Identificar e descrever os diferentes elementos que compõem o Universo, reconhecendo sua organização a partir de diferentes critérios.

Exemplo: Alguns componentes do Universo: luas, planetas, estrelas, aglomerados globulares, galáxias, nuvens de gás e poeira, nebulosas, constelações. Critérios de organização: distância; massa; tamanho; velocidade; agrupamento, posição relativa.

**CNFI3MOA012:** Identificar as diversas etapas possíveis da evolução estelar e relacionar com o espectro eletromagnético visível da superfície da Terra.

Exemplo: Formação de uma estrela e as diferentes possibilidades de evolução em função de sua massa: estrelas da sequência principal, gigante azul, gigante vermelha, anã branca, estrela de nêutrons, supernova, quasares, buraco negro; estrelas de diferentes cores presentes no céu e relação com etapas da evolução estelar.

**CNFI3MOA013:** Compreender o modelo padrão do Big Bang para a formação do Universo, localizando e descrevendo os principais eventos espaço-temporais que o caracterizam e identificando algumas lacunas desse modelo.

Exemplo: Relação entre idade cósmica e temperatura do Universo; radiação cosmológica de fundo; eventos marcantes como a separação das 4 forças na evolução temporal, formação das galáxias, formação do sistema solar, surgimento da vida, evolução do Homo sapiens; lei de Hubble, paradoxo de Olbers; características que o Big Bang não explica, por exemplo, o tamanho das galáxias, a estrutura não homogênea do Universo, a densidade de energia do Universo; modelos alternativos, como o do estado estacionário.

**CNFI3MOA014:** Reconhecer os diversos tipos de emissões realizadas por astros dentro e fora do Sistema Solar, bem como sua detecção na Terra, levando em conta a velocidade de propagação das informações no espaço cósmico.

Exemplo: Detecção na Terra: explosões solares e sua relação com as auroras, fontes extragalácticas de raios X e raios  $\gamma$ , raios cósmicos; possibilidade de detecção na superfície da Terra: dilatação do tempo e contração do espaço no referencial da informação (grifo nosso).

**CNFI3MOA015:** Identificar os eventos associados à exploração do cosmo, relacionando-os a contextos históricos, políticos e socioculturais.

Exemplo: Exploração da Lua e do Sistema Solar pelo homem, associando-os aos contextos da corrida espacial, da Guerra Fria e da disputa política e econômica entre nações.

**CNFI3MOA016:** Reconhecer a existência de modelos explicativos da origem e da constituição do Universo, segundo diferentes épocas e culturas, identificando semelhanças e diferenças em suas formulações.

Exemplo: Cosmologia indígena brasileira; cosmologia de povos pré-colombianos (Maias, Incas); Aristóteles, Ptolomeu e o mundo grego da Antiguidade; cosmologia dos egípcios, babilônios; Galileu, Kepler e Newton e o modelo heliocêntrico.

**CNFI3MOA017:** consultar fontes, sistematizar informações e avaliar as hipóteses científicas de vida fora da Terra e confrontá-las com crenças culturais de existência de vida extraterrestre.

Exemplo: Procura de bioassinaturas dentro do Sistema Solar; procura de exoplanetas; exobiologia; procurada presença de água na Lua, em cometas e em outros planetas; estudo de emissões regulares de radiofrequências de fontes galácticas e extragalácticas; exibição e discussão de filmes de ficção como Contato, ET, Cocoon, 2001, O dia em que a Terra parou etc.

**CNFI3MOA018:** Pesquisar fontes e extrair dados que evidenciam o conhecimento da ciência física como parte integrante da cultura contemporânea, presente nas manifestações artísticas ou literárias.

Exemplo: Peças de teatro, letras de música, livros ou poesias que abordam temas relacionados ao Universo como um todo, elementos cósmicos ou suas características; representações do modelo Big Bang em Centros de Ciências ou em outros espaços não formais.

**CNFI3MOA019:** Ler e extrair dados de gráficos e tabelas que relacionam elementos astronômicos ou cosmológicos e de imagens de objetos astronômicos obtidos por instrumentos ópticos.

Exemplo: No gráfico HR – luminosidade x temperatura estelar, extrair o significado de sequência principal; posição das estrelas supergigantes, gigantes vermelhas, anãs brancas; localização das estrelas mais próximas ao sistema solar, sequenciamento da evolução de estrelas; interpretação de imagens obtidas de

galáxias, nebulosas, aglomerados pelo telescópio espacial Hubble, da superfície de Plutão pela sonda New Horizons, da superfície de Marte pelo robô Curiosity.

**CNFI3MOA020:** Utilizar unidades cosmológicas adequadas para situar objetos e fenômenos cosmológicos, reconhecendo sua proporção com o cotidiano.

Exemplo: UA (unidade astronômica) para localização de corpos celestes no âmbito da astronomia planetária; anos-luz (al) para localização de estrelas, parsec (pc) para medida de distâncias entre estrelas ou entre galáxias.

## Capítulo 3.

### LABORATÓRIO DE FÍSICA DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

#### 3.1. Introdução

O laboratório didático de física das radiações nucleares proposto nesse projeto é baseado numa montagem experimental multiuso, que garanta a segurança das atividades didáticas para os alunos, técnicos e professores.

As doses de radiação na parte externa da montagem devem ser compatíveis com o máximo de dose permitida para indivíduos do público, que a Comissão Nacional de Energia Nuclear / CNEN (Anexo A) estabelece como sendo de 1 mSv por ano.

Ela deve ser transportável, para ser guarda em local seguro quando não estiver sendo utilizadas nas aulas experimentais.

#### 3.2. Design da Montagem Experimental Multiuso

A montagem experimental multiuso tem três partes: a fonte de radiação gama, a blindagem da fonte de radiação e caixa de proteção para o feixe de radiação.

##### 3.2.1. Fonte de Radiação Ionizante

Para gerar a radiação gama poderá ser utilizada uma fonte selada com o radionucleotídeo de  $^{137}\text{Cs}$ , com uma atividade máxima de 3,70 MBq (100 $\mu\text{Ci}$ ). Essa fonte tem o formato de um disco de 1 polegada de diâmetro (25,4mm) por 0,25 polegadas de espessura (6,35mm), mostra na figura 3.1. O decaimento da fonte é por emissão beta ( $^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137}\text{Ba} + \beta^- + \gamma$ ) com uma radiação gama (661,7keV) associada e tem uma meia vida de 31 anos. A partícula beta emitida é rapidamente blindada pelo invólucro da fonte selada, mas a sua emissão e a transmutação de césio para bário, cria uma vacância nas camadas eletrônicas internas, que ao serem preenchidas por elétrons da camada superiores geram uma emissão de radiação extra (~32keV).

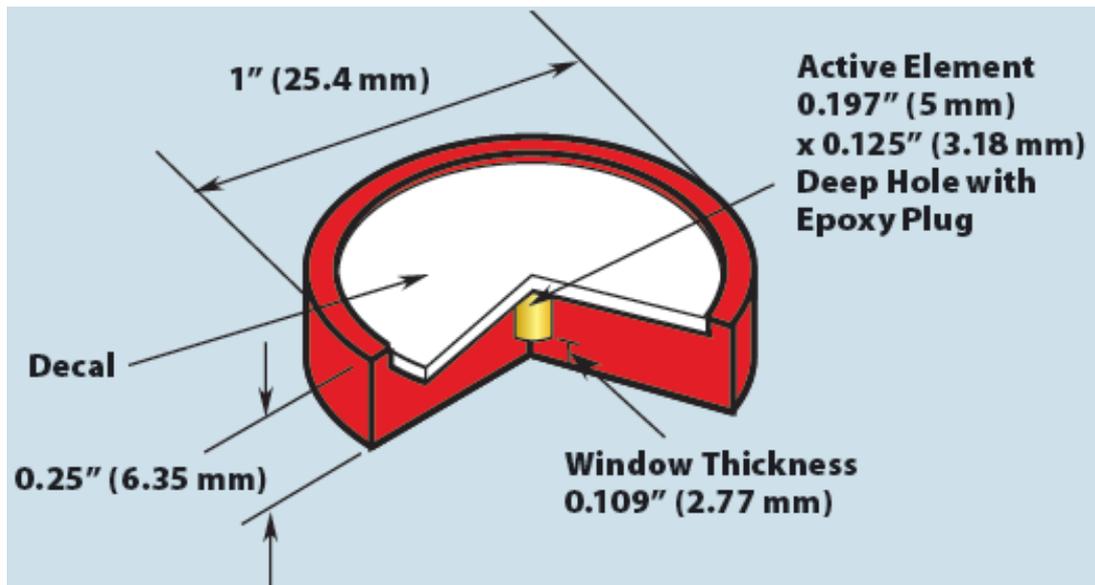


Figura 3.1 - Aspecto de uma fonte selada de Radiação Gama.

### 3.2.2. Blindagem e Obturador da Fonte de Radiação .

Para blindar a fonte de radiação será construída proteção em chumbo e aço inox. Tal proteção precisa atenuar a emissão de radiação até níveis seguros e suportar acidentes mecânicos e incêndio sem perder a integridade. Precisa também ter uma janela para saída de um feixe de radiação e um obturador para fechar esta janela quando necessário. Na figura 3.2 é apresentado o esquema da blindagem e obturador proposta para a fonte.

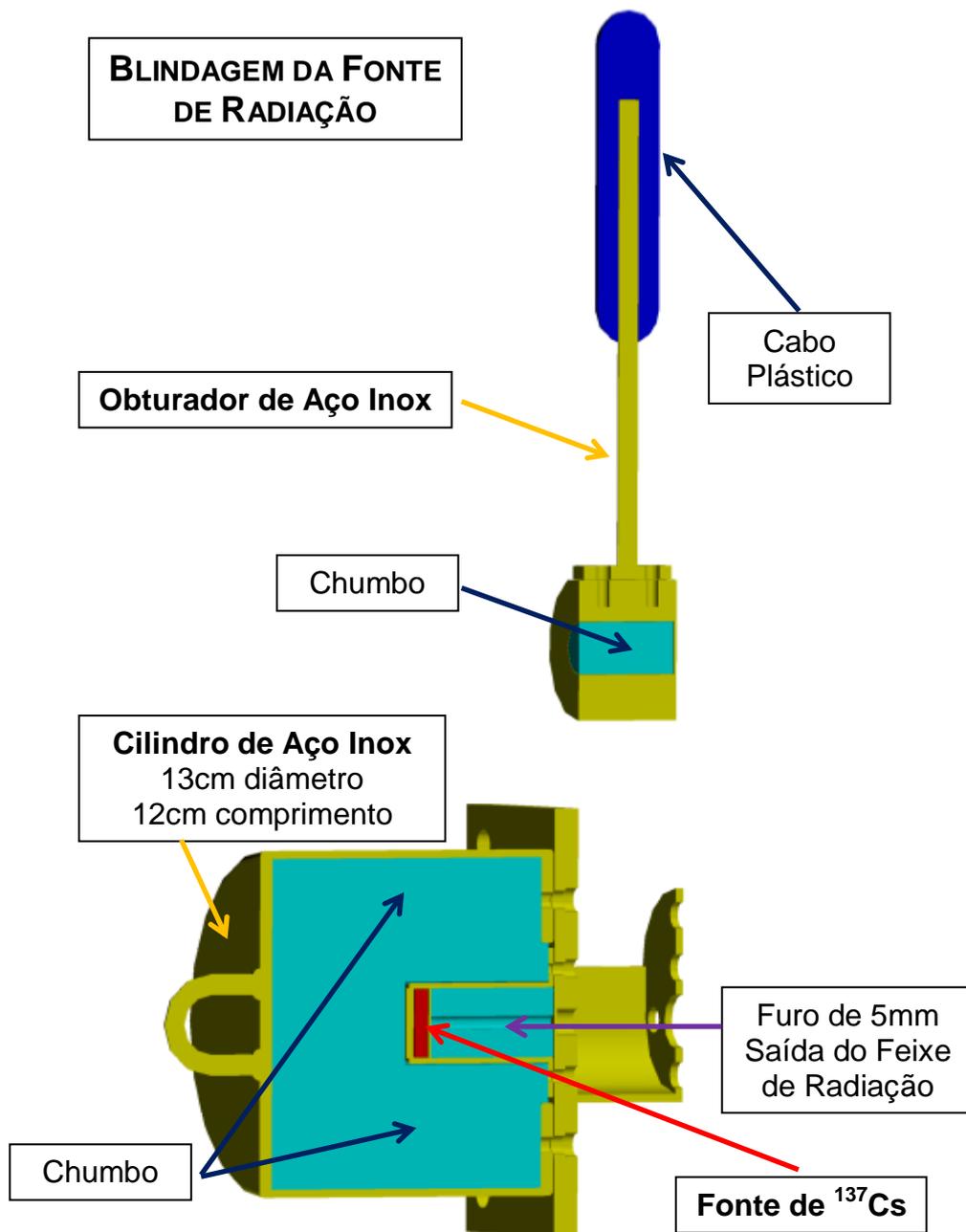


Figura 3.2. - Corte Transversal da Blindagem e do Obturador da Fonte de Radiação.

### 3.2.3. Caixa de Proteção para o Feixe de Radiação

Para proteção dos acadêmicos e dos professores contra exposição acidental ao feixe de radiação, a montagem experimental tem uma caixa de proteção de aço inox de 100 x 20 x 20 cm. A caixa possui uma fenda superior para colocação dos medidores de radiação e itens experimentais, uma abertura numa extremidade para conectar a fonte de radiação e um disco de chumbo de 3cm de espessura na outra

extremidade para blindar o feixe de radiação. Sete pontos para os cálculos das taxas de exposição (**A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F** e **G**) também são mostrados na figura 3.3.

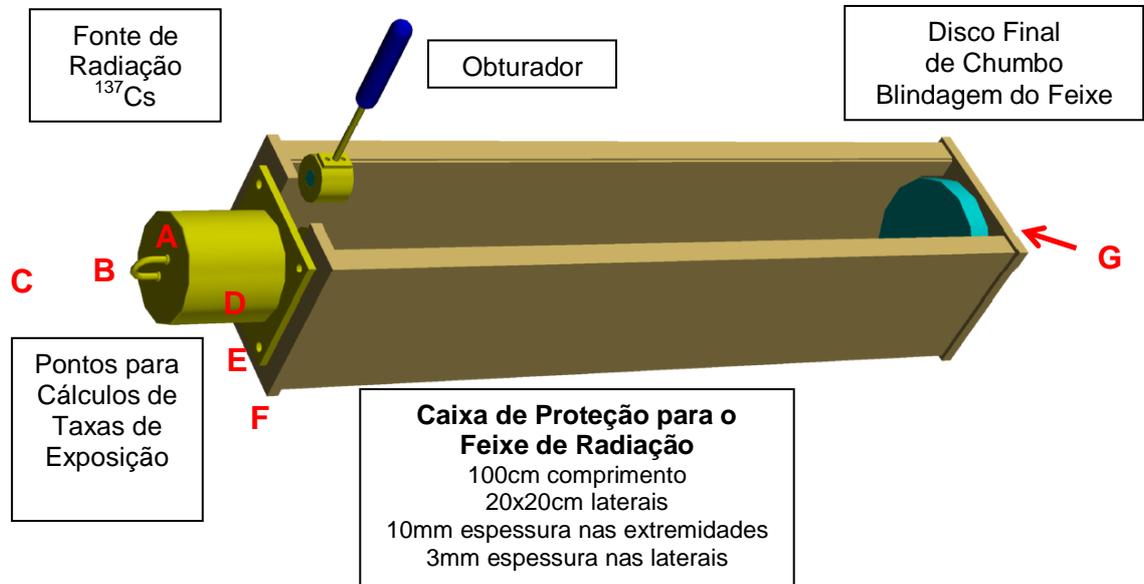


Figura 3.3. - Montagem Experimental com os Pontos para os Cálculos de Taxas de Exposição.

### 3.3. Cálculo das Doses de Radiação em Pontos Escolhidos

Para avaliar a segurança da montagem experimental apresentada neste projeto, devem-se calcular as taxas de exposição no seu entorno (pontos marcados na figura 3.3), supondo a utilização da fonte de maior atividade prevista ( $100\mu\text{Ci}$ ):

- Atividade máxima da fonte:

$$A = 100\mu\text{Ci} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ Ci}$$

- Cálculos da taxa de exposição ( $\dot{X}$ ) da fonte blindada

Considerando barreiras de Chumbo ( $\mu_a = 1,30 \text{ cm}^{-1}$ )

e Aço Inóx ( $\mu_b = 0,58 \text{ cm}^{-1}$ )

$$\dot{X} = \frac{\Gamma A}{d^2} e^{-(\mu_a l_a + \mu_b l_b)}$$

**A)** Na superfície traseira da fonte blindada

Distância da Fonte: 6,5 cm ( $d = 6,5 \times 10^{-2} \text{ m}$ )

Blindagem: 5,5 cm de Chumbo ( $\mu_a l_a$ ) + 0,5 cm de Aço Inox ( $\mu_b l_b$ )

$$\dot{X} = \frac{0,33 \times 1,0 \times 10^{-4}}{(6,5 \times 10^{-2})^2} e^{-(1,30 \times 5,5 + 0,58 \times 0,5)}$$

$$\dot{X} = 4,6 \mu S v / h$$

**B)** A 10 cm da superfície traseira da fonte blindada

Distância da Fonte: 16,5 cm ( $d=16,5 \times 10^{-2}$  m)

Blindagem: 5,5 cm de Chumbo ( $\mu_a l_a$ ) + 0,5 cm de Aço Inox ( $\mu_b l_b$ )

$$\dot{X} = \frac{0,33 \times 1,0 \times 10^{-4}}{(16,5 \times 10^{-2})^2} e^{-(1,30 \times 5,5 + 0,58 \times 0,5)}$$

$$\dot{X} = 0,7 \mu S v / h$$

**C)** A 25 cm da superfície traseira da fonte blindada

Distância da Fonte: 31,5 cm ( $d=31,5 \times 10^{-2}$  m)

Blindagem: 5,5 cm de Chumbo ( $\mu_a l_a$ ) + 0,5 cm de Aço Inox ( $\mu_b l_b$ )

$$\dot{X} = \frac{0,33 \times 1,0 \times 10^{-4}}{(31,5 \times 10^{-2})^2} e^{-(1,30 \times 5,5 + 0,58 \times 0,5)}$$

$$\dot{X} = 0,2 \mu S v / h$$

**D)** Na superfície lateral da fonte blindada

Distância da Fonte: 6,5 cm ( $d=6,5 \times 10^{-2}$  m)

Blindagem: 4,7 cm de Chumbo ( $\mu_a l_a$ ) + 0,3 cm de Aço Inox ( $\mu_b l_b$ )

$$\dot{X} = \frac{0,33 \times 1,0 \times 10^{-4}}{(6,5 \times 10^{-2})^2} e^{-(1,30 \times 4,7 + 0,58 \times 0,3)}$$

$$\dot{X} = 14,6 \mu S v / h$$

**E)** A 10 cm superfície lateral da fonte blindada

Distância da Fonte: 16,5 cm ( $d=16,5 \times 10^{-2}$  m)

Blindagem: 4,7 cm de Chumbo ( $\mu_a l_a$ ) + 0,3 cm de Aço Inox ( $\mu_b l_b$ )

$$\dot{X} = \frac{0,33 \times 1,0 \times 10^{-4}}{(16,5 \times 10^{-2})^2} e^{-(1,30 \times 4,7 + 0,58 \times 0,3)}$$

$$\dot{X} = 2,3 \mu S v / h$$

**F)** A 50 cm superfície lateral da fonte blindada

Distância da Fonte: 56,5 cm ( $d=0,565$  m)

Blindagem: 4,7 cm de Chumbo ( $\mu_a l_a$ ) + 0,3 cm de Aço Inox ( $\mu_b l_b$ )

$$\dot{X} = \frac{0,33 \times 1,0 \times 10^{-4}}{(0,565)^2} e^{-(1,30 \times 4,7 + 0,58 \times 0,3)}$$

$$\dot{X} = 0,2 \mu\text{Sv}/h$$

**G)** Na superfície final da montagem experimental

Distância da Fonte: 112 cm ( $d=1,12$  m)

Blindagem: 3,0 cm de Chumbo ( $\mu_a l_a$ ) + 1,0 cm de Aço Inox ( $\mu_b l_b$ )

$$\dot{X} = \frac{0,33 \times 1,0 \times 10^{-4}}{(1,12)^2} e^{-(1,30 \times 3,0 + 0,58 \times 1,0)}$$

$$\dot{X} = 0,3 \mu\text{Sv}/h$$

### 3.3.1. Considerações de Radioproteção

Comissão Nacional de Energia Nuclear / CNEN, através da normativa NN-301 (Anexo A), estabelece que o máximo de dose efetiva permitida para exposição de indivíduos do público é de 1 mSv por ano para o corpo todo. Para as extremidades do corpo (pés e mãos) este limite aumenta para 50 mSv por ano.

Para as atividades didáticas no laboratório de física das radiações esse percentual não poderia ser mais que 1% da dose anual, ou seja, 10  $\mu\text{Sv}$  para o corpo todo. Considerando que tais atividades podem demandar até 10 horas para serem realizadas dentro do laboratório, próxima a montagem experimental, o valor máximo das doses que os alunos poderiam ser expostos seria de 1  $\mu\text{Sv}/h$ . Este valor é compatível com os pontos da figura 3.4: **B** (a 10 cm da superfície traseira da fonte blindada), **C** (a 25 cm da superfície traseira da fonte blindada), **F** (a 50 cm da superfície traseira da fonte blindada) e **G** (na superfície final da montagem experimental).

Para extremidades, 1% da dose efetiva é 500  $\mu\text{Sv}$ , dividido pelas 10 horas de atividade, o limite seria de 50  $\mu\text{Sv}/h$ . Além dos pontos **B**, **C**, **F** e **G** da figura 3.4, este valor também é compatível com os pontos **A** (na superfície traseira da fonte blindada), **D** (na superfície lateral da fonte blindada) e **F** (na superfície final da montagem experimental).

### **3.3.2. Recomendações de Segurança**

Mesmo com a blindagem na montagem experimental, algumas recomendações são fundamentais:

- Manter-se o menor tempo possível perto da fonte de radiação;
- Manter-se a maior distância possível da fonte de radiação;
- Realizar os experimentos utilizando apenas as mãos, com o corpo afastado pelo menos 25cm da superfície externa da blindagem da fonte.

## Capítulo 4.

### SIMULAÇÃO DAS ISODOSES DE RADIAÇÃO

#### 4.1. Introdução

Para avaliar graficamente as doses de radiação dentro e fora da montagem experimental é necessária traçar as curvas de isodoses. Tal procedimento seria extremamente demorado para ser feito a mão, pois seria necessário calcular as dose em centenas ou milhares de pontos ao redor da fonte de radiação.

Felizmente este exaustivo trabalho pode ser facilitado com o uso do computador. Um trabalho nosso recente, intitulado “Desenvolvimento de software de análise gráfica para planos de radioproteção”, publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física (VISCOVINI, 2011), foi utilizado para traçar as curvas de isodoses, utilizando o software Mathematica®.

#### 4.2. Simulação das Curvas de Isodoses no Mathematica®

O código a seguir traça as curvas para as isodoses referentes a uma fonte de  $^{137}\text{Cs}$  com atividade de  $100\mu\text{Ci}$ . Foram selecionados para traçar os valores de dose de  $1000\mu\text{Sv/h}$ ,  $100\mu\text{Sv/h}$ ,  $10\mu\text{Sv/h}$ ,  $1\mu\text{Sv/h}$  e  $0,1\mu\text{Sv/h}$ .

```
Clear[Alfa, x, y, x0, y0, x1, y1, x2, y2];
Alfa[x_, y_, x0_, y0_, x1_, y1_, x2_, y2_] :=
Module[{A, B, C}, C = (x - x0) (y1 - y2) - (x1 - x2) (y - y0);
If[C == 0, 0, (A = ((x1 - x0) (y1 - y2) - (x1 - x2) (y1 - y0)) / C;
B = ((x - x0) (y1 - y0) - (x1 - x0) (y - y0)) / C;
If[0 < A < 1 && 0 < B < 1, A, 0]]];

Clear[Delta, x, y, x0, y0, x1, y1, x2, y2, x3, y3, x4, y4];
Delta[{x_, y_}, {x0_, y0_}, {{x1_, y1_}, {x2_, y2_}, {x3_, y3_}, {x4_, y4_}}] :=
Module[{A1, A2, A3, A4}, A1 = Alfa[x, y, x0, y0, x1, y1, x2, y2];
A2 = Alfa[x, y, x0, y0, x2, y2, x3, y3];
A3 = Alfa[x, y, x0, y0, x3, y3, x4, y4];
A4 = Alfa[x, y, x0, y0, x4, y4, x1, y1];
If[A1 != 0, If[A2 != 0, Abs[A1 - A2],
If[A3 != 0, Abs[A1 - A3], If[A4 != 0, Abs[A1 - A4], 1 - A1]]],
If[A2 != 0, If[A3 != 0, Abs[A2 - A3], If[A4 != 0, Abs[A2 - A4], 1 - A2]],
If[A3 != 0, If[A4 != 0, Abs[A3 - A4], 1 - A3], If[A4 != 0, 1 - A4, 0]]]]];

Clear[Dose, x, y, K0, x0, y0, P];
Dose[x_, y_, {K0_, {x0_, y0_}}, P_] :=
Module[{r2, r, L, i}, r2 = (x - x0)^2 + (y - y0)^2;
r = Sqrt[r2];
L = Length[P];
If[r2 == 0, 0, K0 / (r2) *
If[L > 0, Exp[-Sum[P[[i, 1]] * r *
Delta[{x, y}, {x0, y0}, P[[i, 2]]], {i, L}]], 1]]];
```

```

Clear[Cesio, Mesa, Fontes, Paredes, Textos, Isodoses, nPontos];
Cesio = Rectangle[{-1.25, 0.25}, {1.25, 0.75}];
Fontes = {{330000, {0, 0.5}}};
Paredes = {
  {1.30, {{6.2, 5.5}, {6.2, -5.5}, {1.5, -5.5}, {1.5, 5.5}}},
  {1.30, {{1.5, 0}, {1.5, -5.5}, {-1.5, -5.5}, {-1.5, 0}}},
  {1.30, {{-6.2, 5.5}, {-6.2, -5.5}, {-1.5, -5.5}, {-1.5, 5.5}}},
  {1.30, {{3, 5.5}, {3, 5.8}, {1.5, 5.8}, {1.5, 5.5}}},
  {1.30, {{-3, 5.5}, {-3, 5.8}, {-1.5, 5.8}, {-1.5, 5.5}}},
  {0.58, {{6.5, 6}, {6.5, -6}, {6.2, -6}, {6.2, 6}}},
  {0.58, {{6.5, -5.5}, {6.5, -6}, {6.2, -6}, {6.2, -5.5}}},
  {0.58, {{-6.5, 6}, {-6.5, -6}, {-6.2, -6}, {-6.2, 6}}},
  {0.58, {{6.3, 5.5}, {6.3, 6}, {3, 6}, {3, 5.5}}},
  {0.58, {{-6.3, 5.5}, {-6.3, 6}, {-3, 6}, {-3, 5.5}}},

  {1.30, {{1.3, 1}, {1.3, 6}, {0.25, 6}, {0.25, 1}}},
  {1.30, {{-1.3, 1}, {-1.3, 6}, {-0.25, 6}, {-0.25, 1}}},
  {0.58, {{3, 5.8}, {3, 6}, {1.5, 6}, {1.5, 5.8}}},
  {0.58, {{-3, 5.8}, {-3, 6}, {-1.5, 6}, {-1.5, 5.8}}},

  {0.58, {{2.9, 11.5}, {2.5, 11.5}, {2.5, 7}, {2.9, 7}}},
  {0.58, {{2.9, 11.5}, {-2.9, 11.5}, {-2.9, 11.9}, {2.9, 11.9}}},
  {0.58, {{-2.9, 11.5}, {-2.5, 11.5}, {-2.5, 7}, {-2.9, 7}}},

  {0.58, {{8, 6}, {8, 7}, {0.5, 7}, {0.5, 6}}},
  {0.58, {{-8, 6}, {-8, 7}, {-0.5, 7}, {-0.5, 6}}},
  {0.58, {{10, 7}, {10, 8}, {4, 8}, {4, 7}}},
  {0.58, {{-10, 7}, {-10, 8}, {-4, 8}, {-4, 7}}},

  {0.58, {{10, 8}, {10, 108}, {9.7, 108}, {9.7, 8}}},
  {0.58, {{-10, 8}, {-10, 108}, {-9.7, 108}, {-9.7, 8}}},
  {0.58, {{10, 108}, {10, 109}, {-10, 109}, {-10, 108}}},
  {1.30, {{10, 109}, {10, 112}, {-10, 112}, {-10, 109}}};

Isodoses = {1000, 100, 10, 1, 0.5};

Textos = {"1000 uSv/h", {0, 25}, {0,1}},
         {"100 uSv/h", {0, 60}, {1,0}},
         {"10 uSv/h", {10, 0}},
         {"1 uSv/h", {27, 0}},
         {"0,5 uSv/h", {37, 0}}};

nPontos = 100;

Show[Graphics[Red, Cesio, Black,
  Table[Rotate[
    Text[Textos[[i, 1]], Textos[[i, 2]], 90 Degree]
    , {i, 1, Length[Textos]}],
  Table[{GrayLevel[1 - Paredes[[i, 1]]/2],
    Polygon[Paredes[[i, 2]]], {i, Length[Paredes]}],
  ContourPlot[
    Sum[
      Dose[x,y,Fontes[[i]],Paredes],{i,1,Length[Fontes]}] ==
Isodoses,
  {x, -40, 40}, {y, -30, 120}, ContourStyle -> Black,
  PlotPoints -> nPontos]],
PlotRange -> {{-40, 40}, {-30, 120}}, Frame -> True,
FrameTicks ->
  {{-40, -20, -10, 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120}, None},
  {{-40, -30, -20, -10, 0, 10, 20, 30, 40}, None}}]

```

Um microcomputador com processador Intel I7-4770, 4ª geração, rodando a 3,4GHz, com 8GB de memória e Windows 10, demorou aproximadamente cinco minutos para executar o programa acima. O resultado é apresentado na figura 4.1.

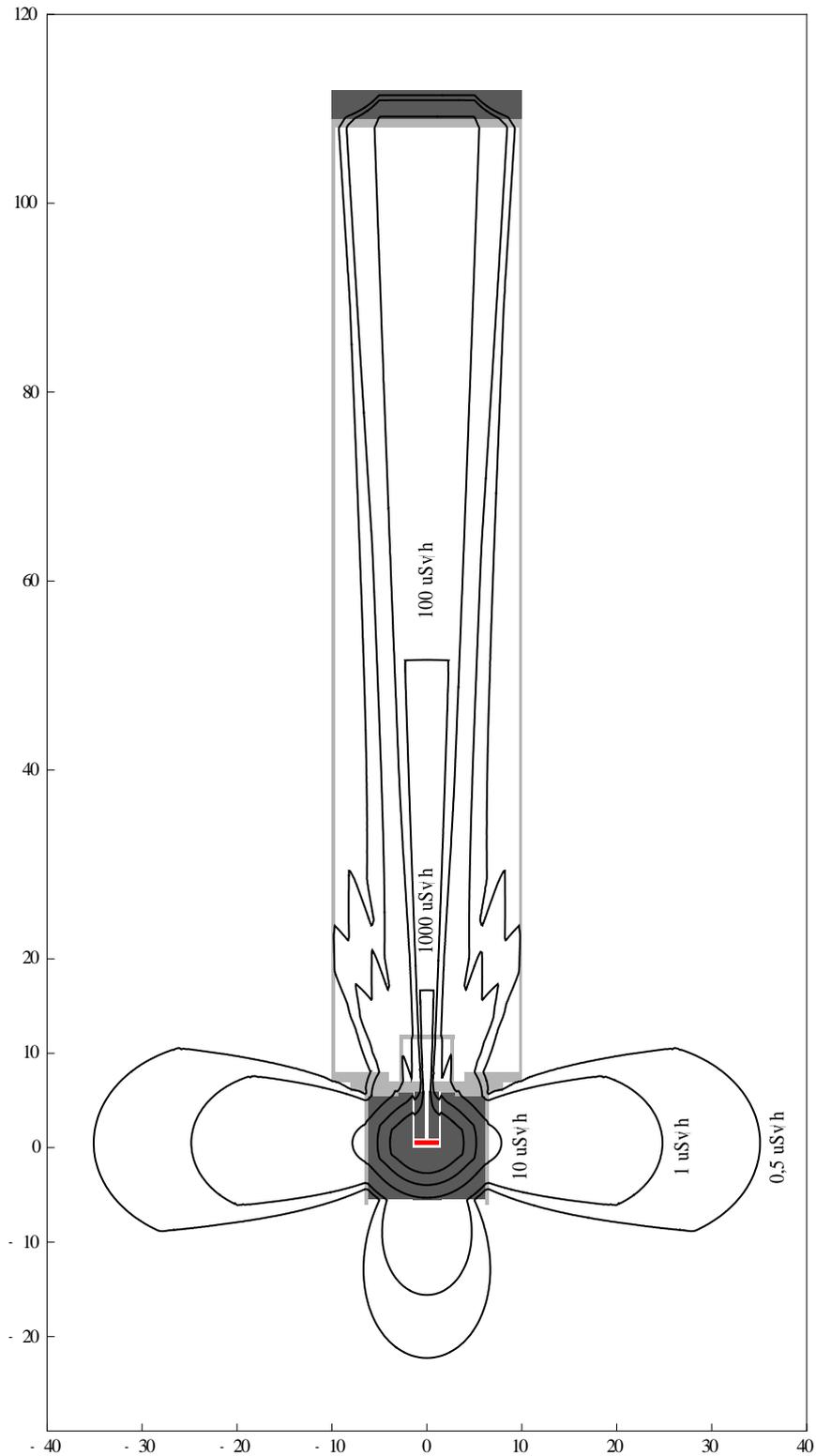


Figura 4.1 - Curvas de isodoses de radiação dentro e fora da montagem experimental

## **Capítulo 5.**

### **CONSTRUÇÃO DA MONTAGEM EXPERIMENTAL**

#### **5.1. Introdução**

A montagem experimental pode ser dividida em três partes: a fonte blindada, o obturador da fonte e a caixa de proteção para o feixe de radiação.

Cada uma dessas partes é apresentada a seguir.

#### **5.2. Fonte Blindada**

A fonte blindada é composta por três partes: a blindagem principal, o portefonte e colimador e o suporte do obturador.

##### **5.2.1. Blindagem Principal**

A blindagem principal é feita por um cilindro de aço inox de 130mm de diâmetro por 130mm de comprimento, com 5,0mm de espessura. Esse cilindro é preenchido por chumbo derretido. Em um dos lados é feito um furo de 30mm de diâmetro por 65mm profundidade para envolver a fonte. Furos e roscas são feitos para parafusar as outras partes da blindagem. Na figura 5.1 é apresentado um corte transversal da blindagem principal, onde pode ser observado o cilindro de aço inox (amarelo) e o preenchimento de chumbo (verde). Na figura 5.2 é apresentado o aspecto externo da blindagem principal.

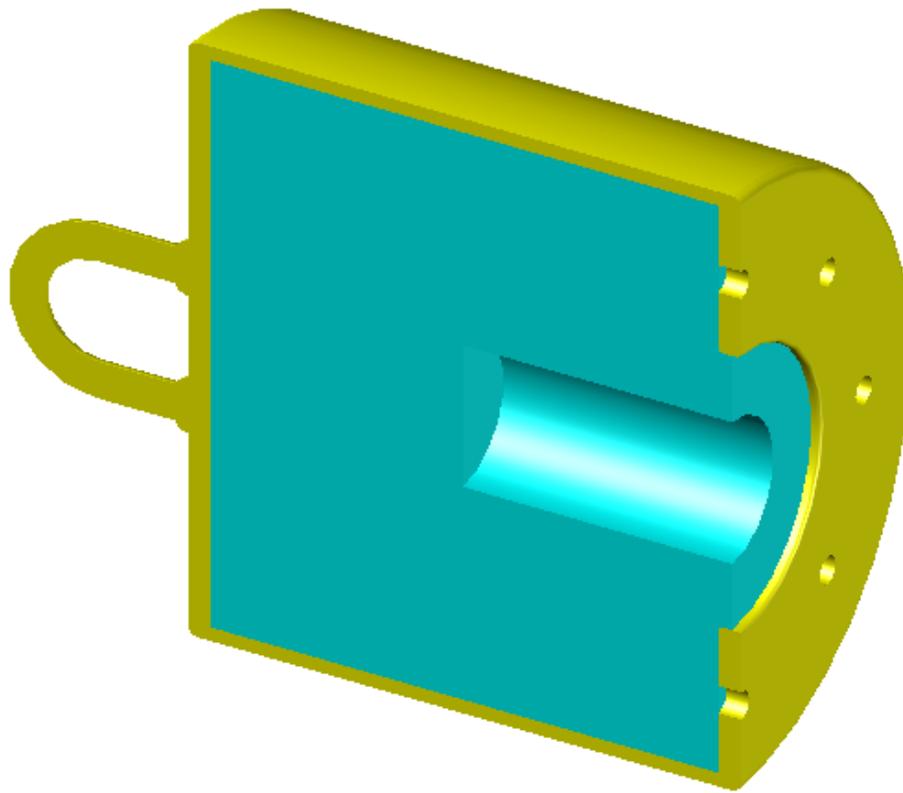


Figura 5.1 - Corte transversal da blindagem principal.

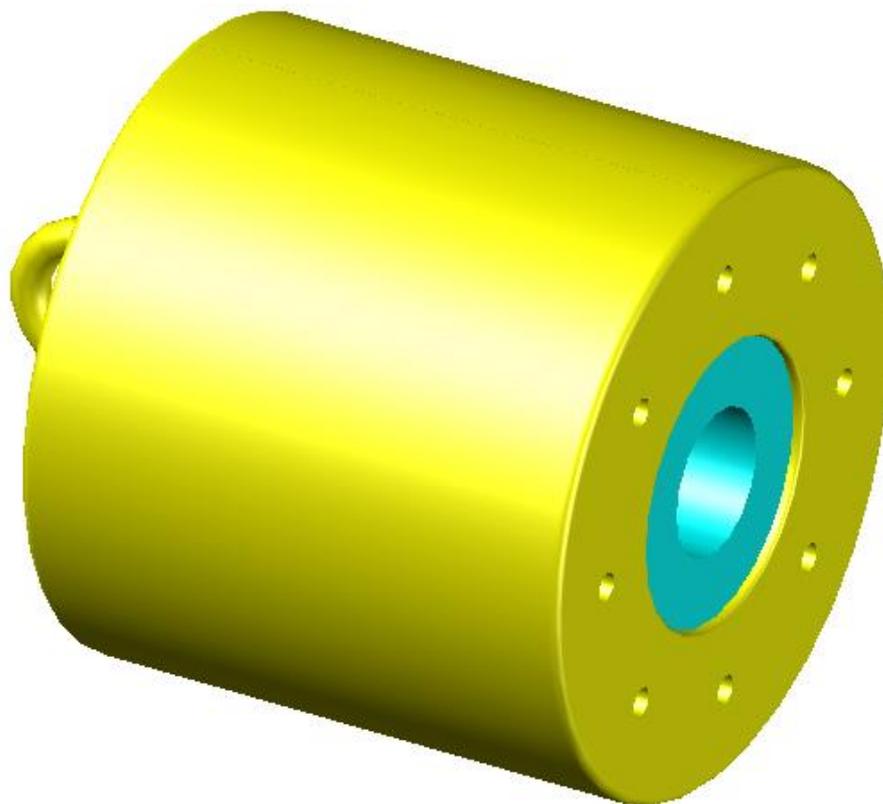


Figura 5.2 - Aspecto externo da blindagem principal

### 5.2.2. Porta-Fonte e Colimador

O porta-fonte é construído por um cilindro de aço inox, com 30mm de diâmetro, 60mm de comprimento e 2mm de espessura. Em uma das extremidades tem uma região isolada onde pode ser parafusada uma fonte com tamanho padrão (25.4mm). Na outra extremidade é colocado um cilindro de chumbo de 25mm, 50mm de comprimento e com um furo central de 5,0mm. Na figura 5.3 é apresentado um corte transversal do porte-fonte e colimador, onde pode ser observado a fonte de radiação (vermelho), o cilindro de aço inox (amarelo), o colimador de chumbo (verde) e uma aba de aço inox (amarelo) para fixar o porte-fonte e colimador na blindagem principal. Na figura 5.4 é apresentado o aspecto externo do porte-fonte e colimador.

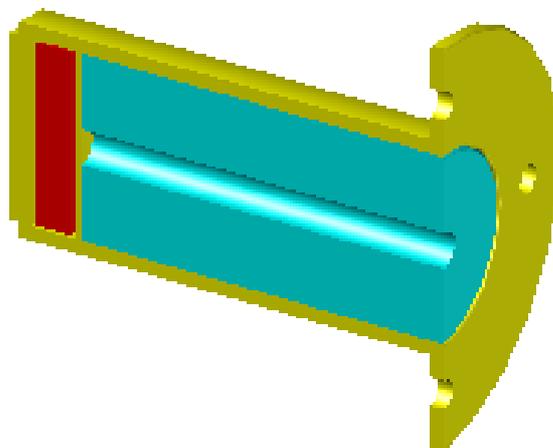


Figura 5.3 - Corte transversal do porte-fonte e colimador.

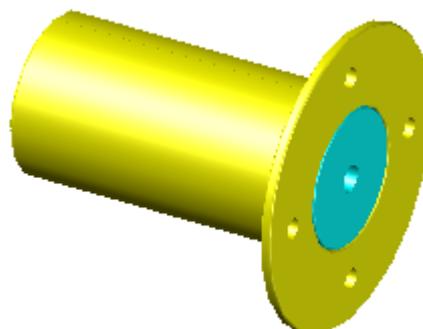


Figura 5.4 - Aspecto externo do porte-fonte e colimador.

### 5.2.3. Suporte do Obturador

O suporte para o obturador é feito de uma chapa de aço inox quadrada de 170mm com 10mm de espessura. Ele possui um compartimento feito de aço inox de 3mm de espessura para coloca o obturador do feixe de radiação. Na figura 5.5 é apresentado o aspecto do suporte do obturador com as furações para os parafusos que conectam esse suporte com a blindagem principal, o porta-fonte e o colimador.

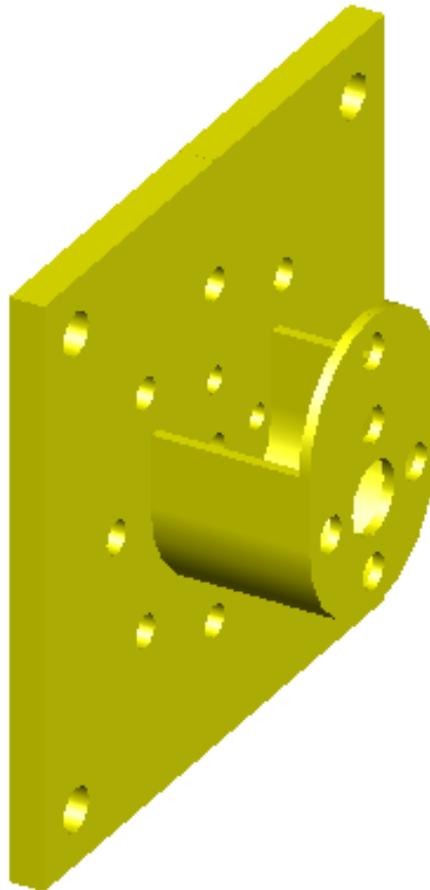


Figura 5.5 - Aspecto externo do suporte do obturador.

### 5.2.4. Montagem da Fonte Blindada

Na figura 5.6 é apresentado o aspecto da fonte blindada, com as suas três partes parafusadas. Na figura 5.7 é apresentado o corte transversal da fonte blindada.

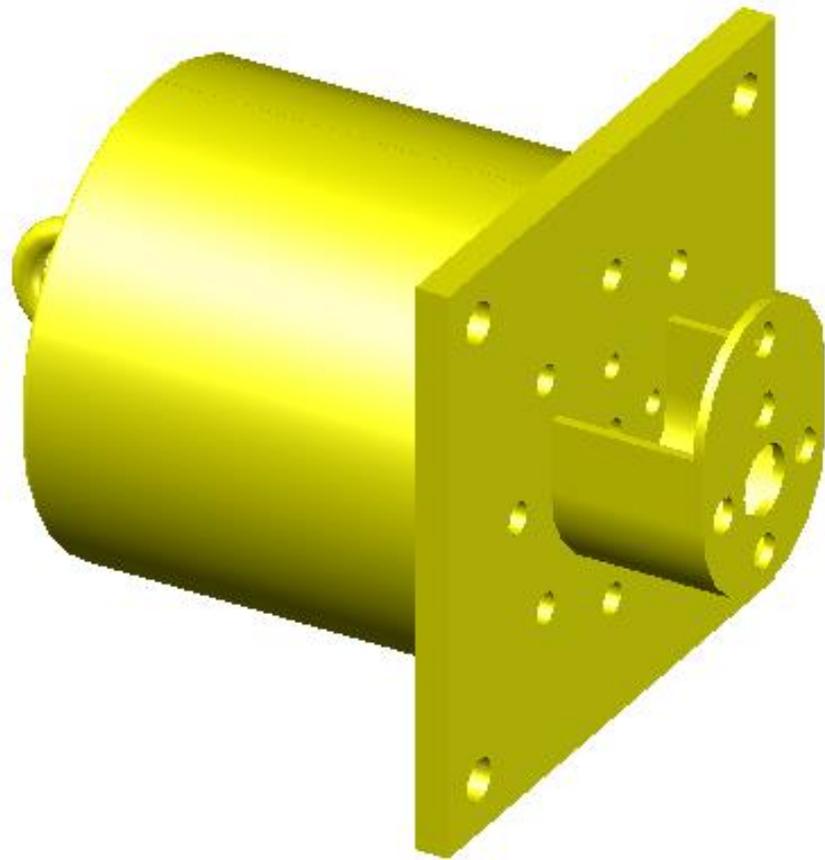


Figura 5.6 - Aspecto externo da fonte blindada.

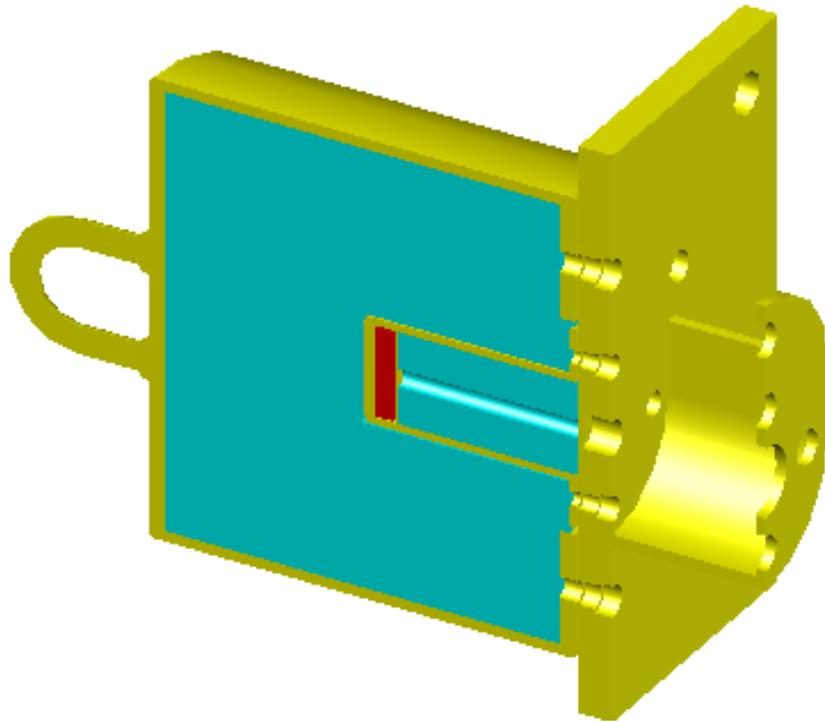


Figura 5.7 - Corte transversal da fonte blindada.

### 5.3. Obturador do Feixe de Radiação

O obturador do feixe de radiação serve para bloquear a radiação que passa pelo colimador. Ele é feito de aço inox, tem um cabo para manipulação. No centro do obturador há um cilindro maciço de chumbo com 25mm de diâmetro e 35mm de comprimento. Na figura 5.8 é apresentado um corte transversal do obturador do feixe de radiação, onde pode ser observado o cilindro de chumbo (verde), o suporte de aço inox (amarelo) e o cabo de manipulação (azul). Na figura 5.9 é apresentado o aspecto externo do obturador do feixe de radiação.

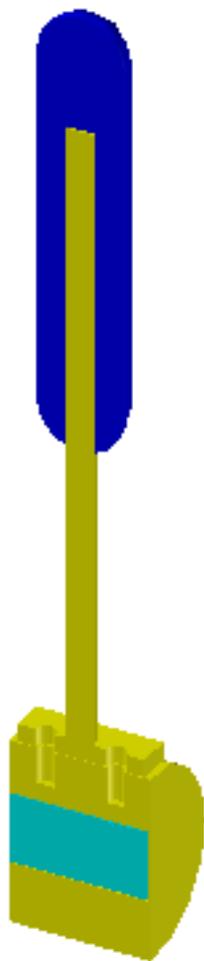


Figura 5.8 - Corte transversal do obturador do feixe de radiação.

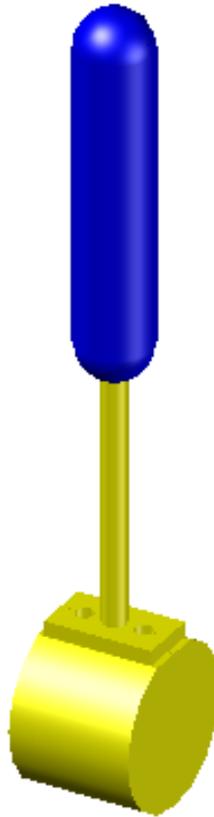


Figura 5.9 - Aspecto do obturador do feixe de radiação.

#### **5.4. Caixa de Proteção para o Feixe de Radiação.**

A caixa de proteção para o feixe de radiação serve para evitar a exposição acidental de professores e alunos ao feixe colimado de radiação. Ele é confeccionado dobrando uma chapa de aço inox de 3mm de espessura na forma de uma caixa de 1000mm de comprimento, 200mm de largura e 200mm de altura. Na parte anterior e posterior é soldada chapas quadradas de inox 210mm com 10mm de espessura. Na parte superior é deixada uma abertura de 150mm de largura, na extensão total da caixa, conforme mostrado na figura 5.10. Esta abertura é utilizada para colocar os experimentos e medidores no feixe de radiação.

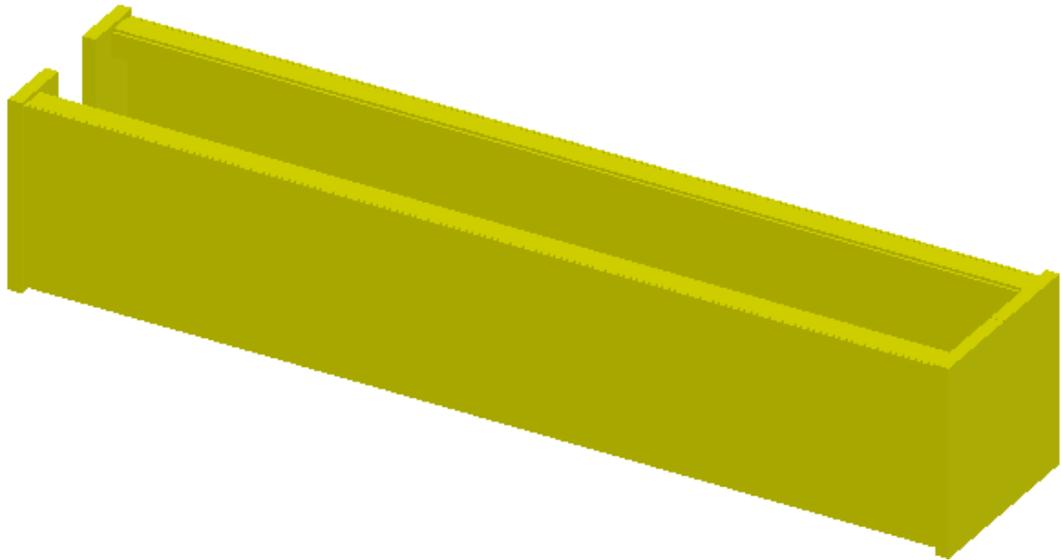


Figura 5.10 - Aspecto da caixa de proteção para o feixe de radiação.

### **5.5. Aspecto Final da Montagem Experimental**

Na figura 5.11 é apresentado o aspecto final da montagem experimental do laboratório da física das radiações.

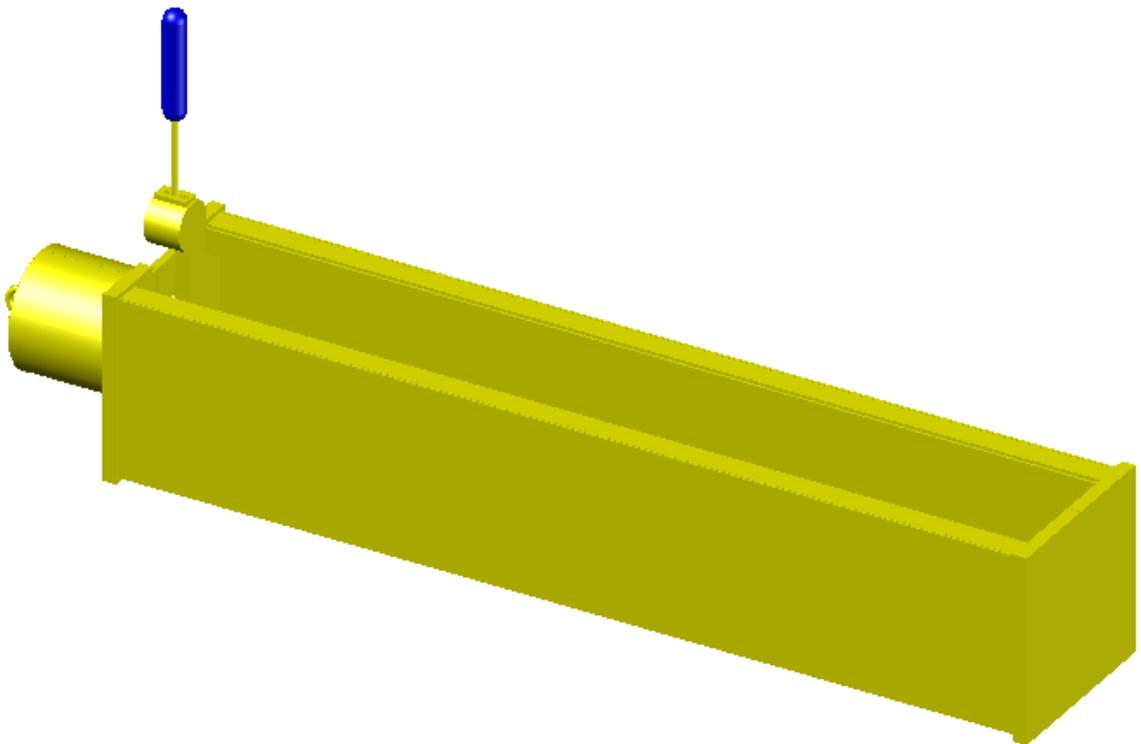


Figura 5.11 - Aspecto final da montagem experimental.

## 5.6. Componentes da Montagem Experimental

Na figura 5.12 é apresentada uma foto da blindagem principal construída para fonte blindada.



Figura 5.12 - Blindagem principal da fonte blindada.

Na figura 5.13 é apresentada uma foto dos componentes do porta-fonte e colimador da fonte blindada. O disco alaranjado (de latão) simulando uma fonte de radiação de tamanho padrão (25.4mm x 6.5mm). Na figura 5.14 são apresentados fotos de frente e verso do porta-fonte e colimador da fonte blindada montado.

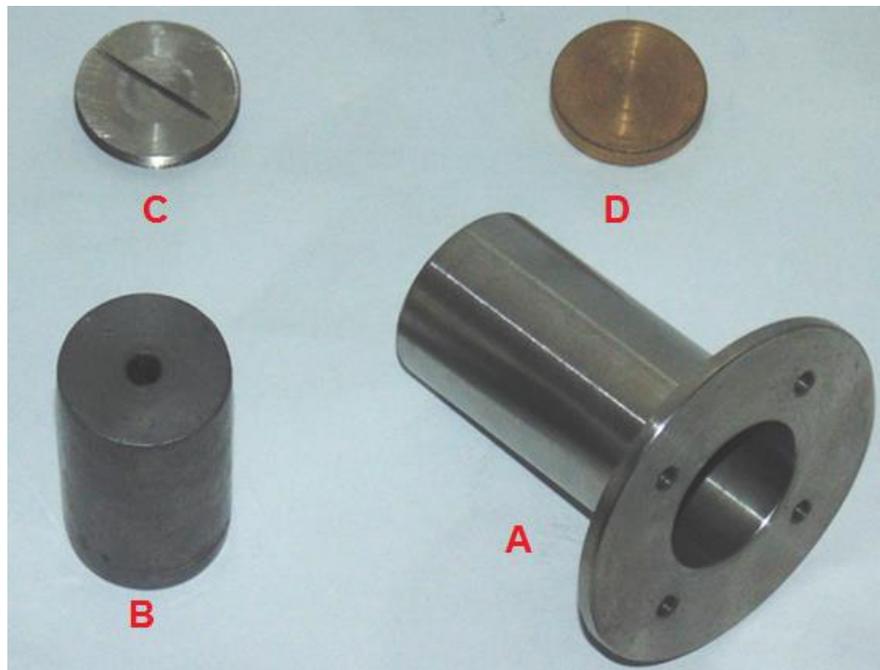


Figura 5.13 - Componentes do porta-fonte e colimador da fonte blindada, onde:  
A) Cilindro de suporte (aço inox); B) Colimador (chumbo);  
C) Tampa aparafusável do porta-amostra (aço inox) e  
D) disco (latão) simulando uma fonte de radiação de tamanho padrão



Figura 5.14 - Frente e verso do porta-fonte e colimador da fonte blindada montado.

Na figura 5.15 é apresentada uma foto fonte de radiação blindada montada.



Figura 5.15 - Fonte blindada montada.

Na figura 5.16 é apresentada uma foto do obturador do feixe de radiação.



Figura 5.16 - Obturador do feixe de radiação, onde:  
A) Cilindro de obturação (chumbo) e B) Cabo para manipulação (plástico).

Na figura 5.17 é apresentada uma foto do obturador do feixe de radiação colocado no suporte do obturador da fonte blindada.

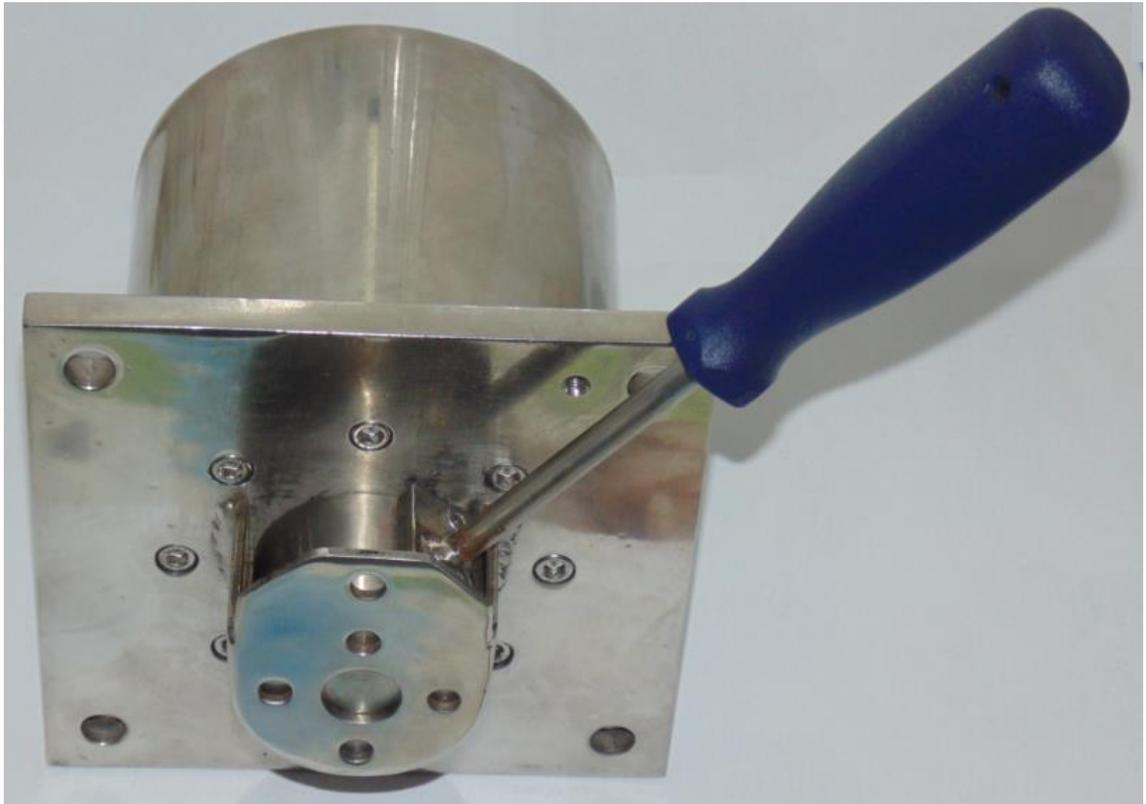


Figura 5.17 - Obturador do feixe de radiação colocado no suporte do obturador da fonte blindada.

Na figura 5.18 é apresentada uma foto da caixa de proteção para o feixe de radiação.



Figura 5.18 - Caixa de proteção para o feixe de radiação.

E, por fim, na figura 5.19 é apresentada uma foto da montagem experimental proposta neste trabalho para laboratórios de física da radiação ionizante.



Figura 5.19 - Montagem experimental para laboratórios de física da radiação ionizante.

## Capítulo 6.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho é detalhada a construção de uma montagem experimental para servir de base para laboratórios didáticos de física das radiações ionizantes.

A montagem proposta prioriza a segurança e versatilidade. São feitos cálculos e traçadas curvas de isodose para garantir que as doses de radiação que os professores e alunos possam ser expostos estejam dentro dos limites de segurança da Comissão Nacional de Energia Nuclear / CNEN (Anexo A).

Fontes de  $^{137}\text{Cs}$  com atividades de até  $100\mu\text{Ci}$  podem ser utilizadas na montagem experimental. Isso abre a possibilidade de experimentos sobre natureza das radiações ionizantes para medições de coeficientes de blindagem de materiais diversos, radioproteção, espelhamento Compton, cintilação e cristalografia por raios.

Com a aquisição das fontes e dos medidores de radiação, poderão ser iniciados os testes com a montagem e a preparação dos roteiros experimentais para o laboratório de radiação. Assim será possível montar esse laboratório que atenderá os cursos de Licenciatura de Física e de engenharias do Campus Regional de Goioerê (CRG).

Assim que discutida e aprovada a Base Nacional Comum Curricular (BNC) do MEC, a Licenciatura de Física do CRG já estará preparada para incorporar no seu currículo disciplinas teóricas e experimentais de física das radiações ionizantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. “Base nacional comum curricular (BNC)”. Ministério da Educação: MEC, 2015. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>. Acesso em 01 de fevereiro de 2016.

CNEN, Comissão Nacional de Energia Nuclear. “Diretriz Básica de Proteção Radiológica - NNE-3.01”. CNEN - Rio de Janeiro - 2014.

LUIZ TAUHATA, IVAN P. A. SALATI, RENATO DI PRINZIO, ANTONIETA R. DI PRINZIO. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos - 5ª revisão agosto/2003 - Rio de Janeiro - IRD/CNEN.

RONALDO CELSO VISCOVINI, NILSON BENEDITO LOPES E DANIEL PEREIRA. Desenvolvimento de software de análise gráfica para planos de radioproteção. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 1, 1505 (2011).

# **Anexo A - DIRETRIZES BÁSICAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA (CNEN NN 3.01)**

**Norma CNEN NN 3.01  
Resolução 164/14  
Março / 2014**

## **DIRETRIZES BÁSICAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA**

**Resolução CNEN 27/04  
Publicação: DOU 06.01.2005**

**Resolução CNEN 48/05 (Alteração dos itens 1.2.5, 2.2 e 7)  
Publicação: DOU 14.11.2005**

**Portaria CNEN 07/05 (Alteração dos itens 2.2 e 5.4.3.4)  
Publicação: DOU 18.01.2006**

**Resolução CNEN 114/11 (Alteração do item 5.4.2.1)  
Publicação: DOU 01.09.2011**

**Resolução CNEN 164/14 (Alteração do item 5.4.3.1)  
Publicação: DOU 11.03.2014**

## SUMÁRIO

### CNEN NN 3.01 – DIRETRIZES BÁSICAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

<b>1.</b>	<b>OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO.....</b>	<b>3</b>
1.1	OBJETIVO.....	3
1.2	CAMPO DE APLICAÇÃO .....	3
<b>2.</b>	<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>3</b>
2.1	INTERPRETAÇÕES .....	3
2.2	DOCUMENTOS COMPLEMENTARES.....	4
<b>3.</b>	<b>DEFINIÇÕES E SIGLAS.....</b>	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>RESPONSABILIDADES GERAIS EM PRÁTICAS E INTERVENÇÕES.....</b>	<b>9</b>
<b>5.</b>	<b>REQUISITOS PARA PRÁTICAS .....</b>	<b>10</b>
5.1	REQUISITO FUNDAMENTAL .....	10
5.2	REQUISITOS GERAIS .....	10
5.3	REQUISITOS ADMINISTRATIVOS.....	10
5.4	REQUISITOS BÁSICOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA.....	12
5.5	REQUISITOS DE GESTÃO.....	14
5.6	VERIFICAÇÃO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA.....	14
5.7	EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL.....	15
5.8	CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS.....	16
5.9	MONITORAÇÃO INDIVIDUAL, MONITORAÇÃO DE ÁREA E AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL .....	16
5.10	SAÚDE OCUPACIONAL .....	17
5.11	REGISTROS OCUPACIONAIS .....	17
5.12	CONTROLE DE VISITANTE .....	17
5.13	EXPOSIÇÃO MÉDICA .....	17
5.14	EXPOSIÇÃO DO PÚBLICO .....	18
<b>6.</b>	<b>REQUISITOS PARA INTERVENÇÃO .....</b>	<b>19</b>
6.1	OBRIGAÇÕES FUNDAMENTAIS .....	19
6.2	REQUISITOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA .....	20
6.3	EXPOSIÇÃO EM SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA .....	20
6.4	EXPOSIÇÃO CRÔNICA .....	21
<b>7.</b>	<b>DISPOSIÇÕES TRANSITÓRIAS .....</b>	<b>21</b>
	<b>COMISSÃO DE ESTUDO .....</b>	<b>22</b>

## DIRETRIZES BÁSICAS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

### 1. OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO

#### 1.1 OBJETIVO

O objetivo desta Norma é estabelecer os requisitos básicos de proteção *radiológica* das pessoas em relação à *exposição à radiação ionizante*.

#### 1.2 CAMPO DE APLICAÇÃO

1.2.1 Esta Norma se aplica as *práticas*, incluindo todas as *fontes* associadas a essas *práticas*, bem como a *intervenções*.

1.2.2 As *práticas* para as quais esta Norma se aplica incluem:

- a) o manuseio, a produção, a posse e a utilização de *fontes*, bem como o transporte, o armazenamento e a deposição de materiais radioativos, abrangendo todas as atividades relacionadas que envolvam ou possam envolver *exposição à radiação*;
- b) aquelas que envolvam *exposição a fontes naturais* cujo controle seja considerado necessário pela *CNEN*.

1.2.3 Os requisitos desta Norma se aplicam às *exposições ocupacionais*, *exposições médicas* e *exposições do público*, em situações de *exposições normais* ou *exposições potenciais*.

1.2.4 As situações de *intervenção* às quais esta Norma se aplica são:

- a) aquelas decorrentes de *situações de emergência*, que requeiram uma *ação protetora* para reduzir ou evitar as *exposições à radiação*;
- b) aquelas decorrentes de situações de *exposições crônicas* que requeiram uma *ação remediadora* para reduzi-las ou evitá-las;
- c) aquelas decorrentes de *exposições* a resíduos oriundos de atividades não submetidas ao sistema regulatório da *CNEN*.

#### 1.2.5 Exclusão

a) Estão excluídas do escopo desta Norma quaisquer *exposições* cuja intensidade ou probabilidade de ocorrência não sejam suscetíveis ao controle regulatório, a critério da *CNEN*, ou aqueles casos que a *CNEN* vier a considerar que estas diretrizes não se aplicam.

b) As práticas de radiodiagnóstico médico e odontológico são regulamentadas por Portaria do Ministério da Saúde.

(alterado pela Resolução CNEN/CD 48/2005, DOU em 14/11/2005)

### 2. GENERALIDADES

#### 2.1 INTERPRETAÇÕES

2.1.1 A *CNEN* pode, por meio de Resolução, acrescentar, revogar ou modificar requisitos desta Norma, conforme considerar apropriado ou necessário.

2.1.2 Quaisquer dúvidas de interpretação que possam surgir em relação às disposições desta Norma serão esclarecidas pela Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear da *CNEN*.

## 2.2 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

Constituem documentos complementares a esta Norma, as seguintes Posições Regulatórias:

- a) PR-3.01/001: Critérios de Exclusão, Isenção e Dispensa de Requisitos de Proteção Radiológica;
- b) PR-3.01/002: Fatores de Ponderação para as Grandezas de Proteção Radiológica;
- c) PR-3.01/003: Coeficientes de Dose para Indivíduos Ocupacionalmente Expostos;
- d) PR-3.01/004: Restrição de Dose, Níveis de Referência Ocupacionais e Classificação de Áreas;
- e) PR-3.01/005: Critérios para o Cálculo de Dose Efetiva a partir da Monitoração Individual;
- f) PR-3.01/006: Medidas de Proteção e Critérios de Intervenção em Situações de Emergência;
- g) PR-3.01/007: Níveis de Intervenção e de Ação para Exposição Crônica;
- h) PR-3.01/008: Programa de Monitoração Radiológica Ambiental;
- i) PR-3.01/009: Modelo para a Elaboração de Relatórios de Programas de Monitoração Radiológica Ambiental;
- j) PR-3.01/0010: Níveis de Dose para Notificação à CNEN; e  
(alterado pela Resolução CNEN/CD 48/2005, DOU em 14/11/2005)
- l) PR-3.01/0011: Coeficientes de Dose para Exposição do Público.  
(alterado pela Portaria CNEN 07/2006, DOU em 18/01/2006)

## 3. DEFINIÇÕES E SIGLAS

Para os fins desta Norma, são adotadas as seguintes definições e siglas:

1. **Ação protetora** - ação tomada durante uma *intervenção*, com o objetivo de reduzir ou evitar *doses* que poderiam ser recebidas em situações de *exposição* de emergência ou de *exposição crônica*.
2. **Ação remediadora** - ação tomada durante uma *intervenção* em campos de *radiação* existentes, com o objetivo de reduzir *doses*.
3. **Acidente** - qualquer evento não intencional, incluindo erros de operação e falhas de equipamento, cujas conseqüências reais ou potenciais são relevantes sob o ponto de vista de *proteção radiológica*.
4. **Área controlada** - área sujeita a regras especiais de proteção e segurança, com a finalidade de controlar as *exposições normais*, prevenir a disseminação de contaminação radioativa e prevenir ou limitar a amplitude das *exposições potenciais*.
5. **Área livre** - qualquer área que não seja classificada como *área controlada* ou *área supervisionada*.
6. **Área supervisionada** - área para a qual as condições de *exposição ocupacional* são mantidas sob supervisão, mesmo que medidas de proteção e segurança específicas não sejam normalmente necessárias.
7. **Atividade** (de uma quantidade de radionuclídeo em um determinado estado de energia em um instante de tempo) – grandeza definida por  $A = dN/dt$ , onde  $dn$  é o valor esperado do número de transições nucleares espontâneas daquele estado de energia no intervalo de tempo  $dt$ . A unidade no sistema internacional é o recíproco do segundo ( $s^{-1}$ ), denominada becquerel (Bq).
8. **CNEN** – Comissão Nacional de Energia Nuclear.

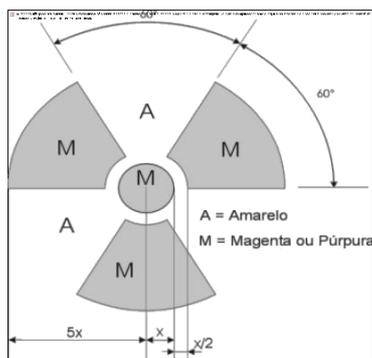
9. **Controle da Qualidade** - ações da garantia da qualidade que proporcionam meios para medir e controlar as características de uma estrutura, sistema, componente, processo ou *instalação*, de acordo com os requisitos estabelecidos.
10. **Controle Institucional** – controle mantido em repositório ou área descomissionada, com o objetivo de limitar a *dose* para a população, envolvendo a manutenção de registros, a delimitação de áreas, as restrições quanto ao uso da terra, o programa de *monitoração* radiológica ambiental, as inspeções periódicas e ações corretivas que se fizerem necessárias.
11. **Descomissionamento** – ações técnicas e administrativas tomadas para encerrar o controle regulatório da *instalação*.
12. **Detrimento** - dano total esperado, devido a *efeito estocástico*, em um grupo de indivíduos e seus descendentes, como resultado da *exposição* deste grupo à *radiação ionizante*. É determinado pela combinação das probabilidades condicionais de indução de câncer letal, câncer não letal, danos hereditários e redução da expectativa de vida.
13. **Dispensa** – retirada do controle regulatório de materiais ou objetos radioativos associados a uma *prática* autorizada.
14. **Dose** - *dose absorvida*, *dose efetiva*, *dose equivalente* ou *dose comprometida*, dependendo do contexto.
15. **Dose absorvida** -  $D$  - grandeza dosimétrica fundamental expressa por  $D = d\mathcal{E} / dm$ , onde  $d\mathcal{E}$  é a energia média depositada pela *radiação* em um volume elementar de matéria de massa  $dm$ . A unidade no sistema internacional é o joule por quilograma (J/kg), denominada gray (Gy).
16. **Dose absorvida comprometida** -  $D(\tau)$  - grandeza expressa por  $D(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{D}(t) dt$ , onde  $t_0$  é o instante em que ocorre a incorporação,  $\dot{D}(\tau)$  é a taxa de dose absorvida em um tempo  $t$ , e  $\tau$  é o tempo transcorrido após a incorporação das substâncias radioativas. Quando não especificado de outra forma,  $\tau$  tem o valor de 50 anos para adultos e até a idade de 70 anos para a incorporação por crianças.
17. **Dose coletiva** - expressão da *dose efetiva* total recebida por uma população ou um grupo de pessoas, definida como o produto do número de indivíduos expostos a uma *fonte de radiação ionizante*, pelo valor médio da distribuição de *dose efetiva* desses indivíduos. A *dose coletiva* é expressa em pessoa-sievert (pessoa.Sv).
18. **Dose comprometida** – *dose absorvida comprometida*, *dose equivalente comprometida* ou *dose efetiva comprometida*, dependendo do contexto.
19. **Dose efetiva** -  $E$  - é a soma das doses equivalentes ponderadas nos diversos órgãos e tecidos,  $E = \sum_T w_T H_T$ , onde  $H_T$  é a dose equivalente no tecido ou órgão e  $w_T$  é o *fator de ponderação de órgão ou tecido*. A unidade no sistema internacional é o joule por quilograma (J/kg), denominada sievert (Sv).
20. **Dose efetiva comprometida** -  $E(\tau)$ - grandeza expressa por  $E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau)$ , onde  $H_T(\tau)$  é a *dose equivalente comprometida* no tecido T no período de integração  $\tau$  e  $w_T$  é o *fator de ponderação de órgão ou tecido*. Quando não especificado de outra forma, tem o valor de 50 anos para adultos e até a idade de 70 anos para a incorporação por crianças.
21. **Dose equivalente** -  $H_T$  - grandeza expressa por  $H_T = D_T w_R$ , onde  $D_T$  é *dose absorvida* média no órgão ou tecido e  $w_R$  é o *fator de ponderação da radiação*. A unidade no sistema internacional é o joule por quilograma (J/kg), denominada sievert (Sv).

22. **Dose absorvida comprometida** -  $H(\tau)$  - grandeza expressa por  $H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt$ , onde  $t_0$  é o instante em que ocorre a incorporação,  $\dot{H}(\tau)$  é a taxa de *dose equivalente* no órgão ou tecido no tempo  $t$  e  $\tau$  é o período de tempo transcorrido após a incorporação das substâncias radioativas. Quando não especificado de outra forma,  $\tau$  tem o valor de 50 anos para adultos e até a idade de 70 anos para a incorporação por crianças.
23. **Dose evitável** - dose que pode ser evitada por uma ou mais ações protetoras.
24. **Efeitos determinísticos** - efeitos para os quais existe um limiar de *dose absorvida* necessário para sua ocorrência e cuja gravidade aumenta com o aumento da *dose*.
25. **Efeitos estocásticos** - efeitos para os quais não existe um limiar de *dose* para sua ocorrência e cuja probabilidade de ocorrência é uma função da *dose*. A gravidade desses efeitos é independente da *dose*.
26. **Efetividade biológica relativa** – medida relativa da efetividade de diferentes tipos e energias de *radiação* em induzir um determinado efeito à saúde. É definida como a razão inversa das *doses absorvidas* de dois diferentes tipos e energias de *radiação* que produziram o mesmo grau de um efeito biológico definido.
27. **Empregador** - pessoa física ou jurídica com responsabilidades e deveres reconhecidos com relação a seu empregado, estagiário, bolsista ou estudante, no seu trabalho ou treinamento, devido a um contrato ou outro acordo formal. Um autônomo é considerado *empregador* e empregado.
28. **Exclusão** – inaplicabilidade de controle regulatório para *exposições* cuja intensidade ou probabilidade de ocorrência não sejam suscetíveis a tal controle, a critério da *CNEN*.
29. **Exposição** – ato ou condição de estar submetido à *radiação ionizante*.
30. **Exposição acidental** - *exposição* involuntária decorrente de situações de *acidente*, terrorismo ou sabotagem.
31. **Exposição crônica** – *exposição* que persiste ao longo do tempo.
32. **Exposição do público** - *exposição* de indivíduos do público a fontes e práticas autorizadas ou em situações de *intervenção*. Não inclui *exposição ocupacional*, *exposição médica* e *exposição natural* local.
33. **Exposição médica** - *exposição* a que são submetidos:
- pacientes, para fins de diagnóstico ou terapia;
  - indivíduos expostos, fora do contexto ocupacional, que voluntária e eventualmente assistem pacientes durante o procedimento radiológico de terapia ou diagnóstico;
  - indivíduos voluntários em programas de pesquisa médica ou biomédica.
34. **Exposição natural** – *exposição* resultante da *radiação* natural local.
35. **Exposição normal** - *exposição* esperada em decorrência de uma prática autorizada, em condições normais de operação de uma fonte ou de uma instalação, incluindo os casos de pequenos imprevistos que possam ser mantidos sob controle.
36. **Exposição ocupacional** – *exposição normal* ou *potencial* de um indivíduo em decorrência de seu trabalho ou treinamento em práticas autorizadas ou *intervensões*, excluindo-se a *radiação natural* do local.
37. **Exposição potencial** - *exposição* cuja ocorrência não pode ser prevista com certeza, mas que pode resultar de um *acidente* envolvendo diretamente uma fonte de *radiação*

ou em consequência de um evento ou de uma série de eventos de natureza probabilística.

38. **Fator de ponderação de órgão ou tecido ( $w_T$ )** – multiplicador da *dose equivalente* em um órgão ou tecido, usado para fins de *radioproteção*, de forma a considerar a diferença de sensibilidade dos diferentes órgãos ou tecidos na indução de *efeitos estocásticos* da *radiação*.
39. **Fator de ponderação da radiação ( $w_R$ )** – número pelo qual a *dose absorvida* no órgão ou tecido é multiplicada, de forma a refletir a *efetividade biológica relativa* da *radiação* na indução de *efeitos estocásticos* a baixas *doses*, resultando na *dose equivalente*.
40. **Fonte** - equipamento ou material que emite ou é capaz de emitir *radiação ionizante* ou de liberar substâncias ou materiais radioativos.
41. **Fontes Naturais** – fontes de *radiação* que ocorrem naturalmente, incluindo *radiação cósmica* e terrestre.
42. **Grupo crítico** - grupo de *indivíduos do público*, razoavelmente homogêneo em relação a uma determinada *fonte* ou via de *exposição*, que seja típico dos indivíduos recebendo as maiores *doses efetivas* ou *doses equivalentes* devidas àquela *fonte* ou via de *exposição*, conforme o caso.
43. **Indivíduo do público** - qualquer membro da população quando não submetido à *exposição ocupacional* ou *exposição médica*.
44. **Instalação** - estabelecimento ou parte de um estabelecimento ou local destinado à realização de uma *prática*. A *instalação* pode ser classificada como *instalação nuclear* ou *instalação radiativa*.
45. **Instalação Nuclear** – *instalação* na qual *material nuclear* é produzido, processado, reprocessado, utilizado, manuseado ou estocado em quantidades relevantes, a juízo da CNEN. Estão, desde logo, compreendidos nesta definição:
  - a) reator nuclear;
  - b) usina que utilize combustível nuclear para produção de energia térmica ou elétrica para fins industriais;
  - c) fábrica ou usina para a produção ou tratamento de *materiais nucleares*;
  - d) usina de reprocessamento de combustível nuclear irradiado; e
  - e) depósito de *materiais nucleares*, não incluindo local de armazenamento temporário usado durante transportes.
46. **Instalação radiativa** – estabelecimento ou *instalação* onde se produzem, utilizam, transportam ou armazenam *fontes de radiação*. Excetuam-se desta definição:
  - a) as *instalações nucleares*;
  - b) os veículos transportadores de *fontes de radiação*, quando estas não são partes integrantes dos mesmos.
47. **Intervenção** – toda ação adotada com o objetivo de reduzir ou evitar a *exposição* ou a probabilidade de *exposição* a *fontes* que não façam parte de uma *prática* controlada, ou que estejam fora de controle em consequência de um *acidente*, terrorismo ou sabotagem.
48. **IOE** – (Indivíduo Ocupacionalmente Exposto) – indivíduo sujeito à *exposição ocupacional*.
49. **Isenção** – ato regulatório que isenta uma *prática* ou uma *fonte* associada a uma *prática* de posterior controle regulatório, sob o ponto de vista de *proteção radiológica*.

50. **Material nuclear** – os elementos nucleares ou seus subprodutos, definidos na Lei 4118/62.
51. **Monitoração** - medição de grandezas e parâmetros para fins de controle ou de avaliação da *exposição à radiação*, incluindo a interpretação dos resultados.
52. **Níveis de ação** – valores de taxa de *dose* ou de concentração de *atividade*, estabelecidos com base em modelo de exposição realista da situação, acima dos quais devem ser adotadas *ações protetoras* ou *remediadoras* em *situações de emergência* ou de *exposição crônica*, de modo que sua adoção implique em certeza da observância dos *níveis de intervenção* correspondentes.
53. **Nível de intervenção** – nível de *dose evitável*, que leva à implementação de uma *ação remediadora* ou *protetora* específica, em uma situação de *emergência* ou de *exposição crônica*.
54. **Nível de investigação** – *nível de referência* que, quando atingido ou excedido, torna necessária a avaliação das causas e conseqüências dos fatos que levaram à detecção deste nível, bem como a proposição de ações corretivas necessárias.
55. **Níveis operacionais** – níveis de *dose*, ou grandeza a ela relacionada, estabelecidos pelo *títular*, baseados nos *níveis de referência* e na aplicação de processos de otimização.
56. **Níveis de referência** – níveis de *dose*, ou grandeza a ela relacionada, estabelecidos ou aprovados pela *CNEN*, com a finalidade de determinar ações a serem desenvolvidas quando esses níveis forem alcançados ou previstos de serem excedidos. Esses níveis incluem os *níveis de registro*, *níveis de investigação*, *níveis de ação* e *níveis de intervenção*.
57. **Níveis de referência de diagnóstico** – valores de uma grandeza específica na *prática* de diagnóstico, para exames típicos em grupos de pacientes adultos, estabelecidos com base em boas práticas médicas e de *proteção radiológica*.
58. **Nível de registro** - valor de *dose*, ou grandeza a ela relacionada, obtido em um programa de *monitoração*, cuja magnitude seja relevante para justificar o seu registro.
59. **Prática** – toda atividade humana que introduz *fontes* de *exposição* ou vias de *exposição* adicionais ou estende a *exposição* a mais pessoas, ou modifica o conjunto de vias de *exposição* devida a *fontes* existentes, de forma a aumentar a probabilidade de *exposição* de pessoas ou o número de pessoas expostas.
60. **Proteção radiológica ou Radioproteção** – conjunto de medidas que visam a proteger o ser humano e seus descendentes contra possíveis efeitos indesejados causados pela *radiação ionizante*.
61. **Radiação ionizante** ou **Radiação** - qualquer partícula ou *radiação* eletromagnética que, ao interagir com a matéria, ioniza seus átomos ou moléculas.
62. **Restrição de dose** – valor inferior ao limite de *dose* estabelecido pela *CNEN* como uma restrição prospectiva nas *doses* individuais relacionadas a uma determinada *fonte* de *radiação ionizante*, utilizado como limite superior no processo de otimização relativo a essa *fonte*.
63. **Serviço de proteção radiológica** – estrutura constituída especificamente com vistas à execução e manutenção do plano de *proteção radiológica* de uma *instalação*. Esta denominação não tem caráter obrigatório.
64. **Símbolo internacional da radiação ionizante** - símbolo utilizado internacionalmente para indicar a presença de *radiação ionizante*:



65. **Situação de Emergência** – situação envolvendo exposição temporária de pessoas, em decorrência de *acidente*, terrorismo ou sabotagem, que implique em *intervenção*.
66. **Supervisor de proteção radiológica ou supervisor de radioproteção** – indivíduo com habilitação de qualificação emitida pela *CNEN*, no âmbito de sua atuação, formalmente designado pelo *titular* da *instalação* para assumir a condução das tarefas relativas às ações de *proteção radiológica* na *instalação* relacionada àquela *prática*.
67. **Titular** – responsável legal pela instituição, estabelecimento ou *instalação* para a qual foi outorgada, pela *CNEN*, uma licença, autorização ou qualquer outro ato administrativo de natureza semelhante.

#### 4. RESPONSABILIDADES GERAIS EM PRÁTICAS E INTERVENÇÕES

4.1 Os responsáveis principais pela aplicação desta Norma são:

- a) os *titulares*; e
- b) os *empregadores*.

4.2 Os titulares podem delegar a outras partes ações e tarefas relacionadas a essas responsabilidades, porém continuam responsáveis por essas ações e tarefas.

4.3 São também responsáveis pela aplicação desta Norma quaisquer pessoas físicas ou jurídicas para as quais o *titular* ou *empregador* tenha formalmente delegado responsabilidades específicas.

4.4 As responsabilidades básicas dos *titulares* e *empregadores* são:

- a) implantar, implementar e documentar um sistema de *proteção radiológica*, em consonância com a natureza e extensão dos riscos associados com as *práticas* e *intervensões* sob sua responsabilidade, em conformidade com esta Norma e demais normas aplicáveis, estabelecidas pela *CNEN*;
- b) determinar as medidas e os recursos necessários para garantir o cumprimento das diretrizes de *proteção radiológica* desta Norma, assegurar que os recursos sejam fornecidos e que essas medidas sejam implementadas corretamente;
- c) rever, continuamente, tais medidas e recursos, identificar quaisquer falhas e deficiências na sua aplicação, corrigi-las e evitar suas repetições, bem como verificar regularmente se os objetivos de *proteção radiológica* estão sendo alcançados;
- d) estabelecer mecanismos para facilitar a troca de informação e cooperação entre todas as partes interessadas com relação à *proteção radiológica*, incluindo a segurança das *fontes*;
- e) manter os registros apropriados relativos ao cumprimento de suas responsabilidades;
- f) tomar as ações necessárias para assegurar que os *IOE* estejam cientes de que sua segurança é parte integrante de um programa de *proteção radiológica*, no qual os *IOE*

possuem obrigações e responsabilidades tanto pela sua própria proteção como pela de terceiros.

4.5 No caso de falhas no cumprimento de qualquer requisito desta Norma, os *titulares e empregadores* são responsáveis pela:

- a) investigação das causas e conseqüências;
- b) adoção das medidas apropriadas para evitar a repetição de falhas semelhantes;
- c) comunicação à *CNEN*, na forma e nos prazos por ela estabelecidos, as causas e as ações corretivas ou preventivas adotadas ou que devam ser adotadas. Esta comunicação deve ser em caráter de urgência, sempre que uma *situação de emergência* tenha se iniciado, esteja se desenvolvendo ou em vias de se desenvolver; e,
- d) adoção de quaisquer outras ações especificadas pela *CNEN*.

4.6 Os *titulares* e os *empregadores* devem permitir aos inspetores da *CNEN* o acesso às suas *instalações* e registros, para fins de verificação do cumprimento dos requisitos desta Norma.

4.6.1 No caso de *exposições médicas*, o acesso, pelos inspetores da *CNEN*, aos registros não deve incluir a identificação individual dos pacientes, exceto com seu expresso consentimento.

## 5. REQUISITOS PARA PRÁTICAS

### 5.1 REQUISITO FUNDAMENTAL

Qualquer ação envolvendo *práticas*, ou *fontes* associadas a essas *práticas*, só pode ser realizada em conformidade com os requisitos aplicáveis desta Norma, a não ser que resulte em *exposição* excluída do controle regulatório da *CNEN*, ou que a *fonte* esteja isenta ou dispensada desse controle.

### 5.2 REQUISITOS GERAIS

5.2.1 Para a realização de uma *prática*, devem ser consideradas todas as ações e etapas envolvidas, desde a escolha do local até o *descomissionamento* ou até o fim do *controle institucional* da *instalação*, tendo como base critérios técnicos sólidos, os quais devem:

- a) considerar as Normas pertinentes da *CNEN*, assim como outros códigos e Normas técnicas aceitos pela *CNEN*;
- b) incluir margens de segurança suficientes, de forma a garantir um desempenho seguro durante a existência da *fonte*, atendendo, em especial, à prevenção de *acidentes* e à mitigação de suas conseqüências, tanto no presente como no futuro.

5.2.2 As *fontes* e *instalações* devem ser mantidas em condições de segurança tais que sejam prevenidos roubos, avarias e quaisquer ações de pessoas físicas ou jurídicas não autorizadas.

5.2.3 Deve-se aplicar às *fontes* e *instalações* um sistema de segurança e proteção, do tipo barreiras múltiplas, que esteja em consonância com a intensidade e a probabilidade das *exposições potenciais* envolvidas.

### 5.3 REQUISITOS ADMINISTRATIVOS

5.3.1 Toda pessoa física ou jurídica com a intenção de realizar qualquer ação relacionada a *práticas* ou *fontes* associadas a essas *práticas* deve submeter requerimento à *CNEN* para obtenção das licenças, autorizações ou quaisquer outros atos administrativos pertinentes, de acordo com normas aplicáveis da *CNEN*.

5.3.1.1 Pessoa física para a qual não seja exigido ato administrativo emitido pela *CNEN* deve estar devidamente habilitada ou ser supervisionada por profissional habilitado pela *CNEN*.

5.3.1.2 Em relação a produtos para consumo, são necessários requerimentos somente para fabricação, montagem, importação e distribuição.

5.3.2 Os *titulares* são os responsáveis por estabelecer e implementar as medidas técnicas e organizacionais necessárias para garantir a segurança das *fontes* sob sua responsabilidade e a *proteção radiológica* em *exposições ocupacionais*, *exposições médicas* e *exposições do público*.

5.3.3 As partes para as quais foram delegadas pelos *titulares* ações e tarefas relacionadas a esta Norma devem estar devidamente habilitadas pela *CNEN*, conforme atos administrativos ou normas específicas.

5.3.4 Os *titulares* devem manter uma estrutura de *proteção radiológica* dimensionada de acordo com o porte da *instalação*, conforme estabelecido pela *CNEN*.

5.3.4.1 Esta estrutura deve contar com, pelo menos, um indivíduo habilitado pela *CNEN* como *supervisor de proteção radiológica*.

5.3.5 Os *titulares* devem solicitar autorização à *CNEN* para introduzir modificações nas *práticas* ou nas *fontes* associadas a essas *práticas*, para as quais tenham sido autorizados, sempre que tais modificações possam ter implicações significativas na segurança das *fontes* ou na *proteção radiológica*. É vedada a execução dessas modificações antes que tenham sido autorizadas pela *CNEN*.

5.3.6 A *isenção* aos requisitos desta Norma será concedida sempre que as *práticas* e as *fontes* associadas a essas *práticas* se enquadrem em critérios de *isenção* estabelecidos pela *CNEN*.

5.3.7 As *fontes* radioativas, incluindo materiais e objetos contendo radionuclídeos, associadas às *práticas* poderão obter *dispensa* do controle regulatório sempre que se enquadrarem nos critérios de dispensa estabelecidos pela *CNEN*.

5.3.8 O *titular* deve submeter à aprovação da *CNEN* um Plano de *Proteção Radiológica*, contendo, no mínimo, as seguintes informações:

- a) identificação da *instalação* e da sua estrutura organizacional, com uma definição clara das linhas de responsabilidade e respectivos responsáveis;
- b) objetivo da *instalação* e descrição da *prática*;
- c) função, classificação e descrição das áreas da *instalação*;
- d) descrição da equipe, *instalações* e equipamentos que compõem a estrutura do *serviço de proteção radiológica*;
- e) descrição das *fontes de radiação* e dos correspondentes sistemas de controle e segurança, com detalhamento das atividades envolvendo essas *fontes*;
- f) demonstração da otimização da *proteção radiológica*, ou de sua *dispensa*;
- g) função, qualificação e jornada de trabalho dos *IOE*;
- h) estimativa das doses anuais para os *IOE* e *indivíduos do público*, em condições de *exposição normal*;
- i) descrição dos programas e procedimentos relativos a *monitoração* individual, *monitoração* de área, *monitoração* de efluentes e *monitoração* do meio ambiente;
- j) descrição do sistema de gerência de rejeitos radioativos;
- k) descrição do sistema de liberação de efluentes radioativos;

- l) descrição do controle médico de *IOE*, incluindo planejamento médico em caso de *acidentes*;
- m) programas de treinamento específicos para *IOE* e demais funcionários, eventualmente;
- n) *níveis operacionais* e demais restrições adotados;
- o) descrição dos tipos de *acidentes* previsíveis, incluindo o sistema de detecção dos mesmos, destacando os mais prováveis e os de maior porte;
- p) planejamento de resposta em *situações de emergência*, até o completo restabelecimento da situação normal;
- q) regulamento interno e instruções gerais a serem fornecidas por escrito aos *IOE* e demais trabalhadores, visando a execução segura de suas atividades; e
- r) Programa de Garantia da Qualidade aplicável ao sistema de *proteção radiológica*.

#### 5.3.9 Constituem-se responsabilidades do *supervisor de proteção radiológica*:

- a) assessorar e informar a direção da *instalação* sobre todos os assuntos relativos à *proteção radiológica*;
- b) zelar pelo cumprimento do plano de *proteção radiológica* aprovado pela *CNEN*;
- c) planejar, coordenar, implementar e supervisionar as atividades do *serviço de proteção radiológica*, de modo a garantir o cumprimento dos requisitos básicos de *proteção radiológica*;
- d) coordenar o treinamento, orientar e avaliar o desempenho dos *IOE*, sob o ponto de vista de *proteção radiológica*.

5.3.10 O substituto eventual do *supervisor de proteção radiológica* deve estar devidamente treinado ou habilitado, a critério da *CNEN*, para exercer a função de *supervisor de proteção radiológica* naquela *prática*.

## 5.4 REQUISITOS BÁSICOS DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

### 5.4.1 Justificação

5.4.1.1 Nenhuma *prática* ou *fonte* associada a essa *prática* será aceita pela *CNEN*, a não ser que a *prática* produza benefícios, para os indivíduos expostos ou para a sociedade, suficientes para compensar o *detrimento* correspondente, tendo-se em conta fatores sociais e econômicos, assim como outros fatores pertinentes.

5.4.1.2 As *exposições médicas* de pacientes devem ser justificadas, ponderando-se os benefícios diagnósticos ou terapêuticos que elas venham a produzir em relação ao *detrimento* correspondente, levando-se em conta os riscos e benefícios de técnicas alternativas disponíveis, que não envolvam *exposição*.

5.4.1.3 Com exceção das *práticas* com *exposições médicas* justificadas, as seguintes *práticas* não são justificadas, sempre que, por adição deliberada de substâncias radioativas ou por ativação, resultem em aumento de *atividade* nas mercadorias ou produtos associados:

- a) as *práticas* que envolvam alimentos, bebidas, cosméticos ou quaisquer outras mercadorias ou produtos destinados a ingestão, inalação, incorporação percutânea ou aplicação no ser humano;
- b) as *práticas* que envolvam o uso frívolo de *radiação* ou substâncias radioativas em mercadorias ou produtos, estando incluídos, desde já, brinquedos e objetos de joalheria ou de adorno pessoal;

c) *exposições* de pessoas para fins de demonstração ou treinamento.

#### 5.4.2 Limitação de dose individual

5.4.2.1 A *exposição normal* dos indivíduos deve ser restringida de tal modo que nem a *dose efetiva* nem a *dose equivalente* nos órgãos ou tecidos de interesse, causadas pela possível combinação de *exposições* originadas por *práticas* autorizadas, excedam o limite de *dose* especificado na tabela a seguir, salvo em circunstâncias especiais, autorizadas pela *CNEN*. Esses limites de *dose* não se aplicam às *exposições médicas*.

Limites de Dose Anuais [a]			
Grandeza	Órgão	<i>Indivíduo ocupacionalmente exposto</i>	<i>Indivíduo do público</i>
<i>Dose efetiva</i>	Corpo inteiro	20 mSv [b]	1 mSv [c]
<i>Dose equivalente</i>	Cristalino	20 mSv [b] <small>Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)</small>	15 mSv
	Pele [d]	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

[a] Para fins de *controle administrativo* efetuado pela *CNEN*, o termo *dose* anual deve ser considerado como *dose* no ano calendário, isto é, no período decorrente de janeiro a dezembro de cada ano.

[b] Média aritmética em 5 anos consecutivos, desde que não exceda 50 mSv em qualquer ano. (Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)

[c] Em circunstâncias especiais, a *CNEN* poderá autorizar um valor de *dose efetiva* de até 5 mSv em um ano, desde que a *dose efetiva* média em um período de 5 anos consecutivos, não exceda a 1 mSv por ano.

[d] Valor médio em 1 cm<sup>2</sup> de área, na região mais irradiada.

Os valores de *dose efetiva* se aplicam à soma das *doses efetivas*, causadas por *exposições* externas, com as *doses efetivas comprometidas* (integradas em 50 anos para adultos e até a idade de 70 anos para crianças), causadas por incorporações ocorridas no mesmo ano.

5.4.2.2 Para mulheres grávidas ocupacionalmente expostas, suas tarefas devem ser controladas de maneira que seja improvável que, a partir da notificação da gravidez, o feto receba *dose efetiva* superior a 1 mSv durante o resto do período de gestação.

5.4.2.3 Indivíduos com idade inferior a 18 anos não podem estar sujeitos a *exposições ocupacionais*.

5.4.2.4 Os limites de *dose* estabelecidos não se aplicam a *exposições médicas* de acompanhantes e voluntários que eventualmente assistem pacientes. As *doses* devem ser restritas de forma que seja improvável que algum desses acompanhantes ou voluntários receba mais de 5 mSv durante o período de exame diagnóstico ou tratamento do paciente. A *dose* para crianças em visita a pacientes em que foram administrados materiais radioativos deve ser restrita de forma que seja improvável exceder a 1 mSv.

#### 5.4.3 Otimização

5.4.3.1 Em relação às exposições causadas por uma determinada fonte associada a uma prática, a proteção radiológica deve ser otimizada de forma que a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de ocorrência de exposições mantenham-se tão baixas quanto possa ser razoavelmente exequível, tendo em conta os fatores econômicos e sociais. Nesse processo de otimização, deve ser observado que as doses nos indivíduos decorrentes de exposição à fonte devem estar sujeitas às restrições de dose relacionadas a essa fonte. No caso de exposições médicas de pacientes, a otimização médica da proteção radiológica deve ser entendida como a aplicação da dose de radiação necessária e suficiente para atingir os propósitos a que se destina.

(Alterado pela Resolução CNEN 164/2014)

5.4.3.2 Nas avaliações quantitativas de otimização, o valor do coeficiente monetário por unidade de *dose coletiva* não deve ser inferior, em moeda nacional corrente, ao valor equivalente a US\$ 10000/pessoa.sievert.

5.4.3.3 A menos que a CNEN solicite especificamente, a demonstração de otimização de um sistema de *proteção radiológica* é dispensável quando o projeto do sistema assegura que, em condições normais de operação, se cumpram as 3 (três) seguintes condições:

- a) a *dose efetiva* anual média para qualquer IOE não excede 1 mSv;
- b) a *dose efetiva* anual média para *indivíduos do grupo crítico* não ultrapassa 10 mSv;
- c) a *dose efetiva coletiva* anual não supera o valor de 1 pessoa.Sv.

5.4.3.4 Como condição limitante do processo de otimização da *proteção radiológica* em uma *instalação*, deve ser adotado um valor máximo de 0,3 mSv para a restrição da *dose efetiva* anual média para indivíduos do grupo crítico, referente à liberação de efluentes.

(alterado pela Portaria CNEN 07/2006, DOU em 18/01/2006)

5.4.3.5 Os efeitos cumulativos de cada liberação anual de qualquer efluente devem ser restringidos de forma que seja improvável que a *dose efetiva*, em qualquer ano, exceda o limite de *dose aplicável*. Devem-se levar em conta os indivíduos a qualquer distância da *fonte*, abrangendo as gerações atuais e futuras, as liberações acumuladas e as *exposições* decorrentes de todas as demais *fontes* e *práticas* pertinentes, submetidas a controle.

## 5.5 REQUISITOS DE GESTÃO

5.5.1 O *titular* deve fomentar e manter uma cultura de segurança para estimular e fortalecer atitudes e comportamentos que contribuam para aprimorar a segurança das *fontes* e a *proteção radiológica*.

5.5.2 O sistema de garantia da qualidade estabelecido e implementado pelo *titular* deve proporcionar, no que se refere à *proteção radiológica*:

- a) garantia de que os requisitos especificados estão satisfeitos; e
- b) mecanismos e procedimentos de *controle da qualidade*, para revisar e avaliar se as medidas de *proteção radiológica* adotadas são efetivas.

5.5.3 Devem ser tomadas medidas para reduzir, o quanto for exequível, a contribuição de erros humanos que levem a *acidentes* ou outros eventos que possam vir a originar *exposições* inadvertidas ou não intencionais em qualquer indivíduo.

## 5.6 VERIFICAÇÃO DE PROTEÇÃO RADIOLÓGICA

5.6.1 Devem ser realizadas análises relativas à *proteção radiológica* e à segurança das *fontes* associadas às *práticas* em todas as ações e estágios envolvidos, desde a escolha do local até o *descomissionamento* ou até o fim do *controle institucional*, a fim de:

- a) identificar as situações em que possam ocorrer *exposições normais* e *potenciais*, levando em consideração os efeitos de eventos externos às *fontes*, que envolvam diretamente as *fontes* e/ou os equipamentos a elas associados; e
- b) determinar a magnitude prevista das *exposições normais* e, quando razoável e exequível, estimar as probabilidades e os valores das *exposições potenciais*.

5.6.2 O *titular* é responsável pela *monitoração* radiológica e medição dos parâmetros necessários para verificar o cumprimento dos requisitos prescritos por esta Norma.

5.6.3 Para fins de *monitoração* e verificação do cumprimento dos requisitos de *proteção radiológica*, o *titular* deve dispor de procedimentos e instrumentação suficientes e adequados. A instrumentação deve ser corretamente mantida e, quando aplicável, testada e calibrada em intervalos apropriados, usando-se como referência padrões rastreáveis aos padrões nacionais ou internacionais.

5.6.4 O *titular* deve manter registros dos resultados das *monitorações* e da verificação do cumprimento dos requisitos pertinentes, incluindo os registros dos testes e calibrações, de acordo com o especificado no Plano de *Proteção Radiológica*.

## 5.7 EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

5.7.1 Os *titulares* e *empregadores* de *IOE* são responsáveis pela proteção desses indivíduos em atividades que envolvam *exposições ocupacionais*.

5.7.2 Os *titulares* e *empregadores* devem assegurar que os *IOE* ou indivíduos eventualmente expostos à *radiação* cuja origem não esteja diretamente relacionada ao seu trabalho, sejam tratados como os *indivíduos do público* e recebam o mesmo nível de proteção.

5.7.3 O *titular*, ao terceirizar serviços que envolvam ou possam envolver *exposição* de *IOE* a uma *fonte* sob sua responsabilidade, deve:

- a) assegurar que o *empregador* esteja ciente de suas responsabilidades, em relação a esses *IOE*, conforme estabelecidas nesta Norma;
- b) assegurar ao *empregador* desses *IOE*, ou responsável pelos mesmos, que a *instalação* atende aos requisitos de *proteção radiológica* desta Norma; e
- c) prestar toda informação disponível, com relação à conformidade a esta Norma, que o *empregador* venha a requerer antes, durante ou após a contratação de tais serviços.

5.7.4 Os *titulares* devem como condição prévia ao trabalho dos *IOE* terceirizados, obter, dos *empregadores*, histórico de *exposição ocupacional* prévia e outras informações que possam ser necessárias para fornecer *proteção radiológica* adequada, em conformidade com esta Norma.

5.7.5 Os *IOE* devem:

- a) seguir as regras e procedimentos aplicáveis à segurança e *proteção radiológica* especificados pelos *empregadores* e *titulares*, incluindo participação em treinamentos relativos à segurança e *proteção radiológica* que os capacite a conduzir seu trabalho de acordo com os requisitos desta Norma;
- b) fornecer ao *empregador* ou ao *titular* quaisquer informações sobre seu trabalho, passado e atual, incluindo histórico de dose, que sejam pertinentes para assegurar tanto a sua *proteção radiológica* como a de terceiros;
- c) fornecer ao *empregador* ou ao *titular* a informação de ter sido ou estar sendo submetido a tratamento médico ou diagnóstico que utilize *radiação ionizante*;
- d) abster-se de quaisquer ações intencionais que possam colocá-los, ou a terceiros, em situações que contrariem os requisitos desta Norma.

5.7.6 Os *IOE* devem comunicar ao *empregador* ou ao *titular*, tão logo seja possível, qualquer circunstância que não esteja, ou possa vir a não estar, em conformidade com esta Norma.

5.7.7 Os *titulares* e *empregadores* devem registrar qualquer comunicado recebido de um *IOE* identificando qualquer circunstância que não esteja, ou possa vir a não estar, em conformidade com esta Norma, e tomar as ações requeridas.

5.7.8 Os *titulares* devem relatar imediatamente à *CNEN* as situações em que os níveis de *dose* especificados para fins de notificação forem atingidos.

5.7.9 Compensações ou privilégios especiais para *IOE* não devem, em hipótese alguma, substituir os requisitos aplicáveis desta Norma.

5.7.10 Uma mulher ocupacionalmente exposta, ao tomar conhecimento da gravidez, deve notificar imediatamente esse fato ao seu *empregador*.

5.7.11 A notificação da gravidez não deve ser considerada um motivo para excluir uma mulher ocupacionalmente exposta do trabalho com *radiação*; porém o *titular* ou *empregador*, nesse caso, deve tomar as medidas necessárias para assegurar a proteção do embrião ou feto, conforme estabelecido na subseção 5.4.2.2 desta Norma.

## 5.8 CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS

5.8.1 Para fins de gerenciamento da *proteção radiológica*, os *titulares* devem classificar as áreas de trabalho com *radiação* ou material radioativo em *áreas controladas*, *áreas supervisionadas* ou *áreas livres*, conforme apropriado.

5.8.2 Uma área deve ser classificada como *área controlada* quando for necessária a adoção de medidas específicas de proteção e segurança para garantir que as *exposições ocupacionais* normais estejam em conformidade com os requisitos de otimização e limitação de *dose*, bem como prevenir ou reduzir a magnitude das *exposições potenciais*.

5.8.3 Uma área deve ser classificada como *área supervisionada* quando, embora não requeira a adoção de medidas específicas de proteção e segurança, devem ser feitas reavaliações regulares das condições de *exposições ocupacionais*, com o objetivo de determinar se a classificação continua adequada.

5.8.4 As *áreas controladas* devem estar sinalizadas com o *símbolo internacional de radiação ionizante*, acompanhando um texto descrevendo o tipo de material, equipamento ou uso relacionado à *radiação ionizante*.

5.8.5 As *áreas supervisionadas* devem ser indicadas como tal, em seus acessos.

## 5.9 MONITORAÇÃO INDIVIDUAL, MONITORAÇÃO DE ÁREA E AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

5.9.1 Os *titulares*, em cooperação com o *empregador*, devem estabelecer e implementar um programa de *monitoração* individual e de área, conforme aplicável, levando-se em conta a natureza e intensidade das *exposições normais* e *potenciais* previstas.

5.9.2 Os *titulares* e *empregadores* são responsáveis pela avaliação da *exposição ocupacional* dos *IOE*. Essa avaliação deve estar baseada na *monitoração* individual e de área, conforme aplicável.

5.9.3 Qualquer *IOE* que possa receber uma *exposição ocupacional* sujeita a controle deve ser submetido à *monitoração* individual, sempre que adequada, apropriada e factível. Nos casos em que a *monitoração* individual não for aplicável, a avaliação da *exposição ocupacional* do *IOE* tomará como base os resultados da *monitoração* da área e as informações sobre as atividades do *IOE* na área.

5.9.4 Os *titulares* e *empregadores* devem solicitar aconselhamento médico adequado sempre que qualquer *IOE*, em uma única *exposição*, vier a receber uma *dose efetiva* superior a 100 mSv ou *dose absorvida* superior ao limiar de *efeitos determinísticos*.

## 5.10 SAÚDE OCUPACIONAL

Os *titulares* e *empregadores* devem implantar um programa de saúde ocupacional, para avaliação inicial e periódica da aptidão dos *IOE*, baseado nos princípios gerais de saúde ocupacional, tendo como referência o Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional.

## 5.11 REGISTROS OCUPACIONAIS

5.11.1 Os *titulares* e *empregadores* devem manter registros de *exposição* para cada *IOE*, incluindo informações sobre:

- a) a natureza geral do trabalho;
- b) as *doses* e as incorporações, quando iguais ou superiores aos *níveis de registro* pertinentes; e
- c) os dados e modelos que serviram de base para as avaliações de *dose*.

5.11.2 Se os *IOE* estiverem envolvidos em atividades que levem, ou possam levar, à *exposição* a uma *fonte* que não esteja sob controle do seu *empregador*, o *titular* responsável pela *fonte* deve fornecer ao *IOE* e ao seu *empregador* os registros de *dose* referentes ao período de realização dessas atividades.

5.11.3 *Empregadores* e *titulares* devem dar acesso e informar aos *IOE* os dados dos seus registros de *dose*, bem como fornecer cópia do histórico de *dose* quando solicitado pelo *IOE*.

5.11.4 Se o *empregador* ou o *titular* cessar a sua atividade envolvendo *exposição* dos *IOE*, deve providenciar meios para a guarda dos registros de *doses* anuais dos *IOE* em um órgão de registro oficial e comunicar esse fato à *CNEN*.

5.11.5 Os registros de *dose* para cada *IOE* devem ser preservados durante o período ativo do indivíduo. Esses registros devem ser preservados até os *IOE* atingirem a idade de 75 anos e , pelo menos, por 30 anos após o término de sua ocupação, mesmo que já falecido.

## 5.12 CONTROLE DE VISITANTE

Os *titulares* devem:

- a) tomar as medidas necessárias para assegurar a *proteção radiológica* adequada de visitantes a *áreas controladas*, incluindo informações e instruções apropriadas;
- b) assegurar que visitantes sejam acompanhados, em qualquer *área controlada*, por uma pessoa com conhecimentos sobre as medidas de *proteção radiológica* para aquela área;
- c) assegurar que visitantes menores que 16 anos não tenham acesso às *áreas controladas*.

## 5.13 EXPOSIÇÃO MÉDICA

### 5.13.1 RESPONSABILIDADES

5.13.1.1 Os *titulares* devem assegurar que:

- a) sejam tomadas as medidas administrativas necessárias para que *exposições médicas* com *fontes* sob sua responsabilidade, para fins de diagnóstico ou terapia de pacientes, sejam realizadas apenas sob prescrição médica;

- b) estejam disponíveis, na *instalação*, equipe médica legalmente reconhecida e habilitada para uso de *fontes* radioativas, além de IOE treinados e supervisionados por profissionais habilitados pela *CNEN*;
- c) seja implementado um programa de garantia da qualidade para *exposições médicas*;
- d) sejam conduzidos ou supervisionados por especialistas, com qualificação reconhecida pela *CNEN*, a calibração dos feixes e das *fontes*, a dosimetria clínica e os testes de *controle da qualidade*;
- e) esteja disponível, na *instalação*, médico especialista com qualificação legalmente reconhecida para práticas médicas “in vivo”;
- f) assegurar que a calibração de equipamentos usados para calibrar feixes e *fontes* empregadas em *exposição médica* seja rastreada por um laboratório padrão de dosimetria, reconhecido ou autorizado pela *CNEN*;
- g) seja restrita, conforme especificada nesta Norma, a *exposição* de voluntários que assistam pacientes submetidos a um procedimento diagnóstico ou terapêutico.

5.13.1.2 Os profissionais envolvidos com as *exposições médicas* devem informar imediatamente ao *titular* qualquer deficiência ou necessidade, relativa ao cumprimento desta Norma, no que se refere à *proteção radiológica* dos pacientes.

5.13.1.3 Os *titulares* devem ainda:

- a) identificar possíveis falhas de equipamento e erros humanos que possam resultar em *exposições médicas* acidentais;
- b) tomar todas as medidas necessárias para prevenir as falhas e os erros, ou minimizar as suas conseqüências, incluindo a seleção de procedimentos adequados para a *prática*, considerando os aspectos de segurança e *proteção radiológica*.

5.13.1.4 Com relação a *acidentes* que envolvam *exposições médicas* diferentes daquelas pretendidas, conforme definido pela *CNEN*, os *titulares* devem:

- a) investigar imediatamente o ocorrido;
- b) calcular ou estimar as *doses* recebidas e sua distribuição no paciente;
- c) indicar as medidas para prevenir a recorrência de tais *acidentes* e implementar aquelas sob sua responsabilidade;
- d) submeter à *CNEN*, logo após a investigação, um relatório escrito que esclareça as causas do *acidente*, bem como as providências tomadas; e
- e) informar por escrito ao paciente e ao médico solicitante sobre o *acidente*.

5.13.1.5 No processo de otimização das *exposições médicas* para fins de diagnóstico, os *titulares* devem considerar os *níveis de referência de diagnóstico* estabelecidos com base em boas práticas médicas e de proteção radiológica.

## 5.14 EXPOSIÇÃO DO PÚBLICO

5.14.1 Em relação às *fontes* sob sua responsabilidade, os *titulares* devem estabelecer, implementar e manter medidas para:

- a) assegurar a aplicação da otimização da *proteção radiológica* para *indivíduos do público* cuja *exposição* seja atribuível a tais *fontes*, considerando as *restrições de dose* para o *grupo crítico* relevante, estabelecidas pela *CNEN*;
- b) garantir a segurança dessas *fontes*, tomando todas as medidas necessárias para prevenir falhas e erros que possam resultar em *exposição acidental* do público, ou para minimizar as suas conseqüências;

- c) estimar a *exposição do público*, incluindo, quando aplicável, programa de *monitoração* radiológica ambiental; e
- d) garantir resposta adequada a *situações de emergências radiológicas* que possam envolver *exposição do público*, incluindo planos ou procedimentos de emergência em consonância com a natureza e a intensidade do risco envolvido.

5.14.2 Os *titulares* devem assegurar que as medidas otimizadas, de acordo com os requisitos desta Norma, sejam também apropriadas para restringir a *exposição* em áreas de acesso público da *instalação* sob sua responsabilidade.

5.14.3 Os *titulares* devem assegurar que os materiais radioativos provenientes de *práticas* sob sua responsabilidade não sejam liberados no meio ambiente, a menos que tais liberações estejam autorizadas pela *CNEN* e sejam otimizadas e controladas.

5.14.4 Os *titulares*, em relação às *fontes* sob sua responsabilidade, devem:

- a) manter todas as liberações de efluentes radioativos otimizadas com relação à *proteção radiológica*, respeitando os níveis de *restrição de dose* autorizados, considerando a *exposição dos grupos críticos*;
- b) estabelecer os *níveis operacionais* para liberação de efluentes radioativos e submetê-los à *CNEN* para aprovação;
- c) monitorar as liberações de efluentes radioativos, para demonstrar o atendimento aos *níveis operacionais* de liberação acima citados;
- d) monitorar, quando aplicável, as vias de exposição do *grupo crítico*, decorrentes das liberações de efluentes radioativos para o meio ambiente;
- e) registrar e manter os resultados dessas *monitorações*, incluindo as estimativas de *dose*, e emitir os relatórios de *monitoração* conforme estabelecido pela *CNEN*; e
- f) comunicar imediatamente à *CNEN* qualquer liberação que exceda os *níveis operacionais* de liberação especificados para fins de notificação.

5.14.5 Os *titulares* devem, quando apropriado, rever e ajustar as suas medidas de controle de liberação, para as *fontes* sob sua responsabilidade, sempre que houver mudança nas condições de liberação, vias de *exposição* ou composição do *grupo crítico*, que possam afetar a estimativa de *dose* decorrente das liberações. Qualquer modificação deve ser aprovada pela *CNEN*.

5.14.6 Os *titulares* devem comunicar imediatamente à *CNEN* qualquer aumento significativo, no meio ambiente, de campos de *radiação* ou de contaminação radioativa, que possa ser atribuído à *radiação* ou às liberações radioativas provenientes das *fontes* sob sua responsabilidade.

## **6. REQUISITOS PARA INTERVENÇÃO**

### **6.1 OBRIGAÇÕES FUNDAMENTAIS**

6.1.1 Sempre que justificadas, devem ser implementadas *ações protetoras* ou *remediadoras* visando a reduzir ou evitar exposições em situações de *intervenção*.

6.1.2 Qualquer *ação protetora* ou *remediadora* deverá ser otimizada em sua forma, extensão e duração, de modo que produza o máximo benefício líquido, levando em consideração as condições sociais e econômicas.

6.1.3 Nas *intervensões*, para proteger os *indivíduos do público*, devem ser observados os *níveis de intervenção* e *níveis de ação* estabelecidos pela *CNEN* para as diferentes *ações protetoras* ou *remediadoras*.

6.1.3.1 Em *situações de emergência*, os *níveis de intervenção* pré-estabelecidos devem ser reavaliados, no momento de sua implementação, em função das condições existentes, desde que não sejam excedidos os níveis de *dose*; neste caso, a *intervenção* deve ocorrer em qualquer circunstância.

6.1.3.2 Em situações de *exposição crônica*, quando ultrapassados os *níveis de ação* relevantes, estabelecidos ou aprovados pela *CNEN*, *ações remediadoras* devem ser executadas.

## 6.2 REQUISITOS DE *PROTEÇÃO RADIOLÓGICA*

6.2.1 Uma *intervenção* se justifica somente quando se espera atingir um benefício maior que o dano, tendo em conta os fatores de saúde, sociais e econômicos.

6.2.2 Durante a resposta a uma *situação de emergência*, a justificção da *intervenção*, os níveis de *intervenção* e os *níveis de ação* pré-estabelecidos pela *CNEN* poderão ser reconsiderados pelos órgãos envolvidos na *intervenção*, levando em conta:

- a) os fatores característicos da situação real, tais como a natureza da liberação, as condições meteorológicas e outros fatores não radiológicos relevantes; e
- b) a probabilidade de que as *ações protetoras* tragam um benefício líquido, dadas as incertezas envolvidas.

## 6.3 EXPOSIÇÃO EM SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA

6.3.1 No caso de *exposições ocupacionais* recebidas no curso de uma *intervenção*, devem ser cumpridos os seguintes requisitos, conforme apropriado, em relação às equipes de *intervenção*:

- a) nenhum membro das equipes de *intervenção*, para atendimento a *situações de emergência*, deve ser exposto a dose superior ao limite anual de *dose para exposição ocupacional*, estabelecido nesta Norma, exceto com a finalidade de:
  - i) salvar vidas ou prevenir danos sérios à saúde;
  - ii) executar ações que evitem *dose coletiva* elevada; ou
  - iii) executar ações para prevenir o desenvolvimento de situações catastróficas;
- b) quando da realização de *intervenções* para atendimento a *situações de emergência* sob as circunstâncias mencionadas acima, as *doses efetivas* dos membros da equipe devem ser inferiores a 100 mSv, com exceção das ações para salvar vidas, quando devem ser sempre observados os limiares relacionados aos *efeitos determinísticos*;
- c) somente voluntários podem empreender ações nas quais a *dose efetiva* possa exceder 50 mSv. Nesses casos, esses voluntários devem ser informados, com antecedência, dos riscos associados à saúde, e devem ser treinados para as ações que possam ser necessárias;
- d) quando a fase de pós-emergência de uma *intervenção* for iniciada, os membros das equipes, que efetuam operações de recuperação, deverão estar sujeitos aos mesmos requisitos de *exposição ocupacional* para as *práticas*, conforme especificados nesta Norma;
- e) os *titulares*, *empregadores* e responsáveis pelas demais organizações envolvidas na *intervenção*, devem, durante a *intervenção* de emergência, fornecer *proteção radiológica* apropriada aos membros das equipes, avaliar e registrar as *doses* recebidas e, quando a *intervenção* terminar, fornecer os históricos das *doses* recebidas;
- f) as *doses* recebidas em *situação de emergência* não impedem *exposições ocupacionais* posteriores, uma vez que estas não devem ser contabilizadas para fins de conformidade

com os limites de *dose* para *práticas*. No caso de ter recebido, em *situação de emergência*, uma *dose efetiva* superior a 100 mSv ou *dose absorvida* superior ao limiar de *efeitos determinísticos*, o *titular* ou *empregador* deve solicitar aconselhamento médico qualificado, antes que o membro da equipe venha a se submeter a qualquer *exposição* adicional.

6.3.2 Cada *titular* responsável por *fontes* que possam necessitar de uma *intervenção* em *situação de emergência*, deve assegurar a existência de um plano de emergência, definindo as diversas ações e responsabilidades, aprovado pela *CNEN*.

6.3.3 Os *titulares* devem garantir os meios adequados para informar prontamente à *CNEN* sobre a:

- a) previsão ou avaliação prévia da extensão e significância de qualquer liberação acidental de materiais radioativos para o meio ambiente;
- b) evolução da situação;
- c) necessidade de *ações protetoras*.

6.3.4 Os *titulares* deverão notificar imediatamente à *CNEN* quando houver possibilidade ou quando ocorrer uma situação que requeira *intervenção* e deverão mantê-la informada sobre:

- a) a situação, sua evolução e como se prevê que se desenvolva;
- b) as medidas tomadas para a *proteção radiológica* dos *IOE* e dos *indivíduos do público*;
- c) as *exposições* ocorridas e as previstas.

6.3.5 Devem ser tomadas as medidas necessárias para permitir a avaliação das *exposições* recebidas por *indivíduos do público*, como consequência de uma *situação de emergência*, e para colocação dos resultados dessa avaliação à disposição do público.

6.3.6 Uma *ação protetora* deve ser interrompida quando a avaliação mostrar que a continuidade da ação não é mais justificada.

6.3.7 Devem ser mantidos registros de todas as avaliações, bem como dos resultados de *monitoração* das equipes de *intervenção*, dos *indivíduos do público* e do meio ambiente.

## 6.4 EXPOSIÇÃO CRÔNICA

6.4.1 Planos de *ações remediadoras*, genéricos ou específicos para o local, relativos a situações de *exposição crônica*, devem especificar as *ações remediadoras* e os *níveis de ação* justificados e otimizados, considerando:

- a) as *exposições* individuais e coletivas;
- b) os riscos radiológicos e não radiológicos; e
- c) os custos financeiros e sociais, os benefícios e a responsabilidade financeira para as *ações remediadoras*.

6.4.2 Os *níveis de ação* para *intervenção*, em situações de *exposição crônica*, devem ser baseados nos critérios e valores estabelecidos ou aprovados pela *CNEN*.

## 7. DISPOSIÇÕES TRANSITÓRIAS

Deve ser estabelecido um período de 2 (dois) anos para as instalações já em operação se adaptarem a esta Norma. As novas instalações a serem licenciadas devem cumprir o estabelecido nesta Norma.

(alterado pela Resolução CNEN/CD 48/2005, DOU em 14/11/2005)

## COMISSÃO DE ESTUDO

### Presidente:

Wilson Melo da Silva Filho

DRS/CNEN

### Membros:

Ana Maria Xavier

DRS/CNEN

Ricardo Nicoll Júnior

DPD/CNEN

Edson Luiz Damasceno de Souza

PJU/CNEN

Arnaldo Mezhari

CGLC/CNEN

Iara Arraes Monteiro

CGLC/CNEN

Dunstana Melo

IRD/CNEN

Elaine Rochedo

IRD/CNEN

Helvécio Correa Mota

IRD/CNEN

Nádia Soide Falcão Martins

IRD/CNEN

Luis Carlos R. Machado da Silva

INB

Gian Maria Sordi

ABENDE

Alfredo Lopes F. Filho

SBPR

Ricardo Tadeu Lopes

SBPR

Josilto Oliveira Aquino

SBPR

Carlos Eduardo Ferreira Domingues

MTE

Andréa Fátima Giacomet

ANVISA

José Alberto Ferreira do Amaral

ANVISA

Antônio Carlos Mazzaro

Eletronuclear

Marcos A. do Amaral

Eletronuclear

Rone César Morales

IBAMA

Sandra Cecília Miano

IBAMA

João Luiz Fernandes da Silva

SBR

Elaine Galli

SBR

Lucia Helena Bardella

ABFM

Marcelo Tatit Sapienza

SBBMN

Adelamir Antônio Barroso

SBBMN

### Secretário:

Marcos Sodré Grund

DRS/CNEN