

Licenciatura Noturna em Física
Instituto de Física
UFRJ

Professora
Suzana



PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO DE FINAL DE CURSO

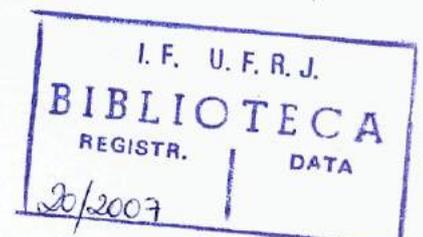
**Radioatividade e Proteção Radiológica:
Conceitos, Aplicações e Esclarecimentos para os
Alunos do Ensino Médio.**

Aluno: David João da Silva

Orientador: Prof. Fernando de Souza Barros

20/2007

Rio de Janeiro – 2007



À minha família, pelo exemplo a ser seguido.

Agradecimentos

Em primeiro, à minha mãe, mulher batalhadora que mesmo sem saber ler e escrever, um dia me pegou pelos braços e me levou até à escola, mostrando-me o quanto seria importante para minha vida a dedicação aos meus estudos.

Aos meus amigos, que muitas vezes se fizeram ouvidos para que eu pudesse relatar minhas experiências vividas na universidade, minhas aulas espetaculares e meus sonhos. Amigos dos quais tenho muito orgulho em saber que onde eu estiver poderei contar com eles, sendo a recíproca também verdadeira.

E aos meus professores acadêmicos que muito ajudaram no término dessa minha caminhada. Professores que durante meus anos na universidade, mesmo sem saber, puderam ajudar no meu processo de crescimento intelectual, fazendo com que me formasse não apenas professor, mas um cidadão brasileiro, agora capaz de continuar seguindo meu caminho com meus próprios passos, mas sem nunca esquecer o quanto foram importantes para minha formação.

“Ao propiciar seus conhecimentos, o aprendizado de Física promove a articulação de toda uma visão de mundo, de uma compreensão dinâmica mais ampla do universo, capaz de transcender nossos limites temporais e espaciais. Assim, ao lado de um caráter prático, a Física revela também uma dimensão filosófica, cuja beleza e importância não devem ser subestimadas no processo educativo”.

(Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN)

Resumo

Nos dias atuais, questões que envolvem Ciência e Tecnologia estão muito presentes no cotidiano das pessoas, dando asas à imaginação do homem fazendo com que utilize seus conhecimentos no provimento do seu próprio bem-estar. A radioatividade é um típico exemplo desta busca e está presente no nosso dia-a-dia desde a origem do universo.

Este trabalho foi elaborado com pretensão de sugerir uma discreta introdução aos conceitos fundamentais da radiação ionizante, do seu uso e dos cuidados que devemos ter quando nos encontrarmos em locais onde ela esteja presente.

Faremos uma breve discussão sobre a origem da física moderna abordando as duas linhas de pesquisas fundamentais que intrigavam os físicos na última década do Século XIX, além de apresentarmos uma pequena introdução a respeito da descoberta da radioatividade e ao estudo das radiações ionizantes, tão utilizadas nos dias atuais pela sociedade moderna; procuramos dar alguns exemplos do uso da radioatividade na Medicina, na Indústria, na Geração de Energia entre outras aplicações, mostrando como é vasto a aplicação do uso desta forma de energia. Aliado a estas questões, desenvolvemos um capítulo que versa sobre os acidentes radiológicos ocorridos na cidade de Pripiat (Usina nuclear de Chernobyl) e em Goiânia (bomba de césio-137), com a intenção de mostrar como é perigoso o descuido com materiais que emitem radiação ionizante.

Dedicamos um capítulo ao estudo da proteção radiológica, a qual acreditamos ser de fundamental importância para a divulgação dos cuidados que devemos ter e procedimentos que devem ser tomados em caso de emergência. Por fim, lembramos os cuidados que devem ser dedicados aos lixos radioativos e faremos uma breve apresentação da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que possui o monopólio exclusivo da exploração do material nuclear da União. Encerramos este trabalho com uma proposta de sua utilização em salas de aula do Ensino Médio, uma vez que este tipo de conhecimento não está incluído nos currículos desse seguimento escolar.

Sumário:

1.	Introdução	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivo	4
2.	A Física Moderna e o Átomo	5
2.1	Introdução	5
2.2	A Física do Núcleo Atômico	5
2.3	O Átomo	6
3.	A Descoberta da Radioatividade e a Radiação Ionizante	8
3.1	Introdução	8
3.2	A Descoberta da Radioatividade	8
3.3	Radiação Ionizante	9
3.4	Radiação Alfa (partícula alfa - α)	10
3.5	Radiação Beta (Partículas Beta - β)	11
3.6	Radiação Gama (Raios Gama - γ)	12
4.	Aplicações da Radioatividade	14
4.1	Introdução	14
4.2	Saúde	14
4.2.1	Radioterapia	14
4.2.2	Braquiterapia	14
4.2.3	Aplicadores	14
4.2.4	Radioisótopos	15
4.3	Diagnóstico	15
4.3.1	Radiografia	15
4.3.2	Tomografia	16
4.3.3	Mamografia	16
4.4	Indústria	17
4.5	Agricultura e Preservação de Alimentos	18
4.6	Geração de Energia	19
4.7	Outras Aplicações	22
5.	Acidentes Radioativos, Chernobyl (1986) e Goiânia (1987)	23
5.1	Introdução	23
5.2	Acidentes Radioativos	23
5.3	O Acidente Radioativo de Chernobyl	24
5.4	O Acidente Radioativo de Goiânia	26
6.	Proteção Radiológica	28
6.1	Introdução	28
6.2	Unidades Utilizadas no Estudo da Radioatividade	28
6.3	Irradiação e Contaminação	30
6.4	Proteção Radiológica	31
6.5	A Imagem que Alerta Perigo	34
6.6	Conseqüências do Descuido	35
6.7	A Física Médica	37

7.	O Destino do Lixo Radioativo	40
7.1	Introdução	40
7.2	Tratamento de Rejeitos Radioativos	40
7.3	Depósitos de Rejeitos Radioativos	41
7.4	O Lixo da Descontaminação de Goiânia	42
8.	A Comissão Nacional de Energia Nuclear e a Fiscalização das Fontes Nucleares	43
8.1	Introdução	43
8.2	A Comissão Nacional de Energia Nuclear.....	43
8.3	A Fiscalização das Fontes Nucleares e os Problemas de Supervisão	44
9.	Sugestão para uso desta Monografia	47
9.1	Introdução	47
9.2	Proposta de um plano de aula sobre Radioatividade e Proteção Radiológica	48
9.3	Proposta de Questionário a ser Aplicado	49
9.4	Sugestão de Plano de Aula: Apresentação da Radioatividade e Algumas Formas de Proteção Radiológica	54
9.5	Outras Sugestões para o uso desta Monografia	56
10.	Conclusão	58
11.	Glossário	59
12.	Referências	63
13.	Sugestões Bibliográficas para Aprofundamento	64
14.	Sugestões Bibliográficas para Aprofundamento na Internet	64

Índice de Figuras

Figura 1: Modelo Atômico de J. J. Thomson, 05.08.2006, no site: http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2001/modeloatomico/modelo_de_thomson.html	6
Figura 2: Modelo Atômico de Schrödinger, 09.07.2006, no site: http://www.comciencia.br/reportagens/fisica/fisica07.htm	7
Figura 3: Níveis de Energia, 15.07.2006, no site: http://www.ajc.pt/cienciaj/n33/atomo1.php	8
Figura 4: Ondas Eletromagnéticas, 30.10.2006, em Sergio V. Möller, Aplicações Industriais das Radiações Ionizantes, Radioatividade, http://www.mecanica.ufrgs.br/lmf	12
Figura 5: Radiações Ionizantes e Suas Formas de Blindagens Características, 24.11.2006, no site: http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/radiacao.html	13
Figura 6: O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Ipen, distribuição de componentes radioativos usados no diagnóstico e tratamento de doenças como câncer, 06.07.2006, no site: http://www.terra.com.br/reporterterra/nuclear/fotos.htm	15
Figura 7: Imagens de Tomografia Computadorizada, 30.10.2006, no site: http://www.siemens.com.br/coluna1.asp?canal=2128&parent=131&grupo=4	16
Figura 8: Radiação é usada na produção e esterilização de equipamentos médicos e cirúrgicos, 06.07.2006, no site: http://www.terra.com.br/reporterterra/nuclear/fotos.htm	17
Figura 9: Peito de peru distribuído para a NASA contendo o símbolo indicando que o produto foi irradiado, 06.07.2006, no site: http://www.terra.com.br/reporterterra/nuclear/fotos.htm	18
Figura 10: Símbolo Internacional do Alimento que Recebeu Radiação, encontrada em 06.07.2006, no site: http://www.terra.com.br/reporterterra/nuclear/rep_09.htm	18
Figura 11: Diagrama de Funcionamento de Uma Usina Termo-Nuclear, 30.10.2006, no site: http://www.eletronuclear.gov.br/sys/interna.asp?IdSecao=9&secao_mae=2	20
Figura 12: Vista geral das usinas de Angra I e II, 06.07.2006, no site: http://www.terra.com.br/reporterterra/nuclear/fotos.htm	21
Figura 13: Prédio do reator da usina de Angra I, 06.07.2006, no site: http://www.terra.com.br/reporterterra/nuclear/fotos.htm	21
Figura 14: Energia, Explosão de uma bomba atômica, 28.09.2006, no site: http://pt.wikipedia.org/wiki/Bomba_at%C3%B4mica	21
Figura 15: Câmara de radiação do Ipen, utilizada para esterilizar produtos, 30.10.2006, no site: http://www.terra.com.br/reporterterra/nuclear/fotos.htm	22

Figura 16: Acidente Nuclear de Chernobyl, 15.11.2006, no site: <a href="http://80smelhordecada.blogspot.com/2006/04/histria-acidente-nuclear-de-
chernobyl.html">http://80smelhordecada.blogspot.com/2006/04/histria-acidente-nuclear-de- chernobyl.html	25
Figura 17: Atividade da Amostra iodo-131, 05.06.2006 em Sergio V. Möller, Aplicações Industriais das Radiações Ionizantes, Radioatividade, http://www.mecanica.ufirs.br/lmf	30
Figura 18: Contaminação e Irradiação, 17.08.2006 em Cardoso, E., M., Radioatividade, Apostila Educativa da CNEN, http://www.cnen.gov.br	31
Figura 19: Fração de Doses para Fontes Naturais e Artificiais, 30.10.2006 em de Azevedo, A. C. Pedrosa, física, D.Sc., Radioproteção em Serviços de Saúde, Apostila Educativa da FIOCRUZ	32
Figura 20: Fração de Doses para Fontes Artificiais, 28.09.2006 em de Azevedo, A. C. Pedrosa, física, D.Sc., Radioproteção em Serviços de Saúde, Apostila Educativa da FIOCRUZ	32
Figura 21: Aventais de Chumbo e Protetores de Tireóide, 28.09.2006 em de Azevedo, A. C. Pedrosa, física, D.Sc., Radioproteção em Serviços de Saúde, Apostila Educativa da FIOCRUZ	34
Figura 22: Símbolo Internacional da Presença da Radiação Ionizante, 30.10.2006 em Cardoso, E., M., Radioatividade, Apostila Educativa da CNEN, http://www.cnen.gov.br	34
Figura 23: Radiodermite, 28.10.2006 em http://sismed.com.br/%5Carquivos%5Cartigo02.pdf	36
Figura 24: Radiodermite, 28.10.2006 em http://sismed.com.br/%5Carquivos%5Cartigo02.pdf	36
Figura 25: Radiodermite, 28.10.2006 em http://sismed.com.br/%5Carquivos%5Cartigo02.pdf	36
Figura 26: Radiodermite, 28.10.2006 em http://sismed.com.br/%5Carquivos%5Cartigo02.pdf	36
Figura 27: Diferentes Dosímetros Utilizados por Profissionais que Trabalham com Radiações Ionizantes, 15.11.2006 em http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/radiacao.html	37
Figura 28: Tambores de lixo atômico de baixa e média radioatividade armazenados em Angra, 06-07-2006, no site: http://www.terra.com.br/reporterterra/nuclear/fotos.htm	41

1.0 – Introdução

1.1 - Motivação

Comemoramos em janeiro de 2005 os cem anos da publicação dos cinco artigos de maior destaque do Físico Albert Einstein. Entendemos a importância destes artigos, quando percebemos as maravilhas tecnológicas que foram desenvolvidas depois de apresentadas ao mundo as suas idéias. Pensemos momentaneamente no efeito fotoelétrico, na teoria da relatividade, na invenção do laser, na utilização da energia nuclear como fonte geradora de energia elétrica, entre outras formas de utilização do diminuto e pouco conhecido átomo. Há pouco mais de cem anos que a Física Moderna vem sendo desenvolvida e abrindo caminhos promissores para a humanidade; estamos entrando cada vez mais no interior dos átomos e avançando distâncias inimagináveis pelos confins do universo. O homem e a Natureza nunca estiveram tão próximos quanto após a segunda metade do Século XX.

Não podemos deixar de reconhecer que na pós-modernidade, que se instaurou em meados do Século XX, estamos no início de uma nova civilização que tende a desvendar alguns dos incríveis mistérios do universo. Porém, os rápidos progressos da tecnologia que são frutos deste novo paradigma surgem sob o signo da ambigüidade, isto é, de um lado, concorrem para a melhoria das condições de vida, de outro, ameaçam a própria existência da vida sobre o planeta.

Na medida em que as universidades e os centros de pesquisa nacionais avançam no campo da ciência e da tecnologia de ponta, fonte de riqueza e indicação de desenvolvimento de uma nação, nota-se que o conhecimento desta parte da Física pouco se expõe nas Escolas de Ensino Médio. A Física Moderna ainda engatinha de forma discreta por algumas salas de aula mas não está incluída oficialmente nos currículos desse seguimento escolar. Mesmo no Estado do Rio de Janeiro, onde estão localizados muitos centros de pesquisa do Brasil, o programa a ser desenvolvido nas escolas estaduais não prevê a inclusão da Física Moderna, nem mesmo parte dela em seus tópicos.

Foi pensando no direito à informação que todos têm e na formação social dos alunos que se procurou escrever sobre uma pequena parte desta Física (mas de nenhuma maneira menos importante), a saber, a Radioatividade.

No atual Ensino Médio, estuda-se o átomo e sua composição tidos especificamente como um fenômeno químico; fala-se sobre meia vida, decaimento radioativo dos tipos alfa, beta e gama, mostra-se o símbolo internacional da presença de radiação ionizante e apenas se comenta alguns efeitos da exposição acidental a uma fonte radioativa. No entanto, não existe

uma preocupação em alertar os jovens como devem proceder se um dia se depararem com uma fonte “*in natura*” de materiais que emitam radiação.

Acidentes radioativos (vide glossário) já aconteceram no mundo; lembremos o caso da explosão do reator número quatro da Usina Nuclear de Chernobyl em 1986 e no Brasil, em 1987, a bomba de césio-137 encontrada por dois sucateiros em Goiânia que distribuíram partes dela para algumas pessoas na cidade, o que bastou para gerar um verdadeiro caos na região, tendo entre as vítimas fatais uma criança de apenas seis anos.

Ao mesmo tempo em que fascina por suas aplicações tecnológicas, a radioatividade também aterroriza, pois de um momento para outro podemos estar expostos à radiação sem perceber, uma vez que não existe odor, efeito imediato ou barulho que nos possam servir de alerta. Se exposta, uma pessoa pode sofrer logo os efeitos da radiação ou mesmo levar anos para que este efeito se manifeste, podendo ocorrer o aparecimento de tumores, tireoidite, desencadeamento de câncer, enegrecimento da pele, queda de dentes e cabelos, dermatites e levando inclusive a amputar partes do corpo da pessoa contaminada. É o efeito invisível que não se sente mas que pode acabar com a vida de uma pessoa. Ainda hoje, Século XXI, a grande maioria das pessoas sequer imagina que existe a radioatividade ou ao menos tem noção de como ela pode atingi-lo.

A radioatividade é um efeito gerado pela instabilidade nuclear, um fenômeno que permite o uso da energia nuclear, de aplicações diversas. Não se deve abrir mão deste fenômeno mas sim conhecê-lo para melhor gerenciá-lo, pois suas aplicações vão desde a medicina até as indústrias agrícolas. A radiação nuclear e suas aplicações constituem algo estratégico para o desenvolvimento de uma nação. No Brasil, toda a manipulação, fiscalização e desenvolvimento da tecnologia nuclear é de responsabilidade de um órgão federal, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), sendo subsidiada pelos demais órgãos que são sua gerência.

Pensando no gerenciamento de uma mão-de-obra qualificada e voltada para a realização de trabalhos e pesquisas que envolvam as radiações ionizantes no âmbito da Medicina, foi criada no Rio de Janeiro a Habilitação em Física Médica, sediada e coordenada pelo Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, planejada e executada por um conselho constituído por representantes de outros órgãos, centros e institutos de pesquisas que são referência nacional nas atividades que envolvem o uso de materiais radioativos e suas radiações em tratamento de doenças como o câncer, por exemplo.

Através de acordos e trocas interativas de conhecimentos entre os estudantes de Física Médica do Instituto de Física e os profissionais das demais instituições envolvidas neste

projeto, a UFRJ está podendo oferecer profissionais pesquisadores dotados de capacidades intelectuais de maneira que possam atuar nas diversas áreas da Medicina onde está presente o uso da radiação, como por exemplo o tratamento de doenças com aplicadores, a análise de imagens geradas por tomografias, raios X e ressonâncias magnéticas, a calibração de aparelhos emissores de radiação, entre outras atividades que requerem o conhecimento específico de um especialista desta área.

Não é interesse desta monografia apenas discutir a radiação nuclear de forma pormenorizada mas sim, mostrar uma parte dela que requer uma atenção de caráter importante uma vez que utilizamos cada vez mais materiais radioativos e acidentes envolvendo estes materiais podem acontecer, hoje, em qualquer país do mundo, ou mesmo num estabelecimento ao lado de nossas casas.

É possível que esta monografia esteja um pouco além dos ensinamentos pensados para os alunos do Ensino Médio no entanto, ela se torna extremamente útil quando utilizada por um professor que se disponha a desenvolver um trabalho em tópicos ou até mesmo em discussões entre os alunos após uma boa leitura. Ela oferece a este professor a possibilidade de trabalhar com seus alunos cada capítulo individualmente ou fazer uso de apresentações por meio de *slides* do programa *PowerPoint*, realizando uma palestra seguida de uma grande discussão das idéias.

Por fim, mesmo para aqueles professores que não dispõem de tempo suficiente para desenvolver um trabalho pormenorizado por ter de ministrar aulas em várias escolas com finalidade de complementar sua renda, é importante deixar claro que esta monografia se destina a lembrar que numa situação limite de perigo, existe a Comissão Nacional de Energia Nuclear e que tanto ela, quanto os seus princípios, devem ser conhecidos pelos alunos e cidadãos brasileiros. Neste sentido, é desejável que os alunos saibam reconhecer o aviso que alerta para a existência de radiação ionizante e de material radioativo, conheçam a CNEN e, se necessário, saibam como acioná-la.

1.2 - Objetivo

Tem esta monografia a intenção de levar ao conhecimento dos alunos do Ensino Médio uma pequena introdução sobre a história da radiação nuclear, dando um enfoque à descoberta da radioatividade, sua importância econômica e científica, discutindo algumas de suas aplicações e alertar para os cuidados que todos devem ter quando diante de uma situação de emergência, mostrando as consequências dos efeitos decorrentes da exposição e contaminação por materiais radioativos, uma vez que este tipo de conhecimento não é ministrado nos cursos regulares das escolas tradicionais.

2.0 – A Física Moderna e o Átomo

2.1 - Introdução

O que hoje conhecemos como Física Moderna constitui essencialmente a física desenvolvida no início do Século XX, mais precisamente nas três primeiras décadas do século passado. De um ponto de vista teórico, todo o conhecimento produzido nesse período pode ser resumido em duas grandes linhas: a teoria da relatividade, proposta por Albert Einstein, e a teoria quântica, iniciada com Max Planck. Do ponto de vista prático esses conhecimentos resultaram virtualmente em toda a tecnologia do final do século passado, baseada nas físicas atômica e nuclear, na química quântica e na ciência dos materiais.

2.2 – A Física do Núcleo Atômico

Na última década do Século XIX, dois temas de pesquisa despertavam grande interesse. Um era a tentativa de conciliar a Mecânica Newtoniana e a radiação eletromagnética e o outro se tratava das descargas elétricas nos gases rarefeitos. Trabalhando no primeiro tema, Planck chegou à famosa fórmula da quantização da radiação ($E = h\nu$), na qual surge a constante h , hoje conhecida como constante de Planck. Quanto aos estudos sobre gases rarefeitos, estes permitiram, entre outras coisas, a descoberta dos raios X (Wilhelm Roentgen, 1895), da detecção da radioatividade (Henri Becquerel - 1896 e Madame Curie - 1898) e do elétron (J.J. Thomson - 1897). Essas três descobertas, ao lado do trabalho de Planck, desencadearam o processo que originou a Física Quântica.

Já em 1905, Einstein usou as idéias de Planck para explicar o efeito fotoelétrico. Os raios X apresentam hoje inúmeras aplicações tecnológicas. Duas outras aplicações tecnológicas resultantes da Física Quântica merecem destaque: o laser e os semicondutores.

O primeiro registro que se tem notícia da menção do átomo é do filósofo grego Demócrito [1]. Ele chamou átomo aquele pedaço de matéria que não mais teria partes, isto é, que não mais podia ser dividido. A idéia de átomo era tão forte para Demócrito que ele afirmou: - Nada existe, além dos átomos e do vazio. No entanto, a aceitação do conceito do átomo foi um longo processo porque grande parte dos cientistas, aliados à falta de evidências conclusivas, relutaram até o início do Século XX em aceitar a sua existência. Foi somente após a Primeira Guerra Mundial, na década de 1920, que a teoria do átomo como constituinte fundamental da matéria foi plenamente aceita. Um fato que contribuiu para dar credibilidade à idéia do átomo foi a descoberta do elétron, uma primeira partícula subatômica, isto é, menor do que o átomo, que tem carga elétrica negativa e está presente em todos os átomos. Esta

descoberta foi realizada por J.J. Thomson em 1897, ao estudar descargas elétricas em gases rarefeitos [1].

Uma outra importante evidência para o estabelecimento desta teoria foi a percepção por alguns cientistas, como a polonesa Marie Curie, de que certos materiais emitiam alguma coisa que não se sabia ao certo o que era. Um desses materiais descoberto pela própria Marie Curie em 1898 foi chamado de rádio e, por isso, esse fenômeno foi chamado radioatividade e os elementos constituintes daqueles materiais foram chamados de elementos radioativos.

2.3 – O Átomo

Após a observação de partículas emitidas pelos materiais radioativos e da descoberta dos elétrons, os cientistas foram levados a acreditar que o átomo era divisível e deveria, portanto, ter uma estrutura interna. Deu-se início aos primeiros modelos atômicos para o átomo, dentre os quais se destacou o modelo de J. J. Thomson (de 1904) - conhecido como “pudim de passas” pois imaginara ele ser o átomo uma espécie de massa homogênea composta por cargas elétricas positivas onde estariam espalhados os elétrons. Uma ilustração deste modelo é mostrada na figura 1.

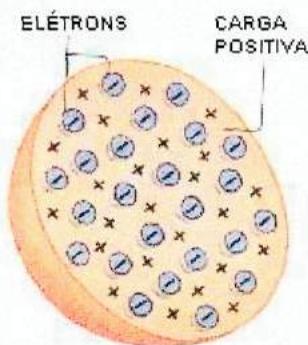


Figura 1: Modelo Atômico de J. J. Thomson

Em 1911, é apresentado o modelo de Rutherford, no qual o átomo tem um núcleo no centro com carga elétrica positiva e ao seu redor estariam os elétrons atraídos pela força elétrica deste núcleo. Rutherford demonstrou experimentalmente a existência do núcleo atômico. Baseado no resultado de Rutherford surgiu por fim o modelo atômico de Bohr onde o átomo seria composto por um núcleo, e ao seu redor estariam os elétrons se movendo em órbitas estacionárias. Essas órbitas estacionárias satisfaziam condições especiais e apenas algumas seriam permitidas. A mudança de uma órbita para outra acarretaria um ganho ou perda de energia. Esse modelo semiempírico foi eventualmente substituído com o surgimento da Mecânica Quântica, a partir da década de 1920, graças às contribuições de Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger e Paul Dirac. Uma ilustração do modelo de Schrödinger pode ser visto na figura 2.

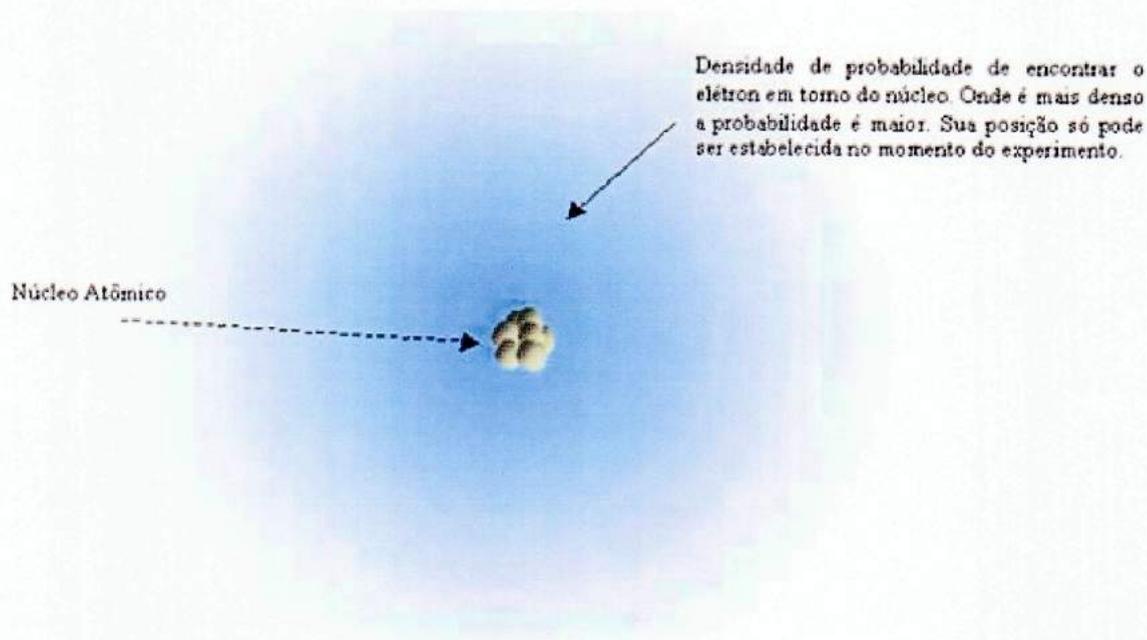


Figura 2: Modelo Atômico de Schrödinger - A partir das equações de Schrödinger não é possível determinar a trajetória do elétron em torno do núcleo, mas, a uma dada energia do sistema, obtém-se a região mais provável de encontrá-lo.

De forma bem básica, podemos conceber o átomo como uma esfera de elétrons confinados pela presença de um centro massivo atrativo de carga elétrica positiva, o núcleo, que embora tão pequeno concentra praticamente toda a massa do átomo e sua carga total positiva é igual em valor à carga elétrica total negativa dos elétrons desta esfera atômica [2].

Para avaliarmos a grandeza dos tamanhos envolvidos, podemos imaginar um átomo de ouro ampliado até o tamanho de um campo de futebol, o que equivale a um aumento de um trilhão de vezes. Neste caso, o núcleo teria o tamanho de uma pequena moeda colocada no centro do campo; o resto seria um espaço vazio com algumas partículas espalhadas (os elétrons), que teriam um décimo do diâmetro de um fio de cabelo! Uma partícula alfa teria o tamanho de uma cabeça de alfinete e por isso poderia atravessar facilmente o campo, isto é o átomo. Em suma, o átomo é um grande vazio!

Quando investigamos o núcleo atômico, mergulhamos mais fundo na matéria e entramos no campo da Física Nuclear. O átomo é eletricamente neutro e o número de prótons é igual ao número de elétrons que giram em torno do núcleo. No âmago do núcleo aparece um tipo de força inteiramente diferente, que mantém juntos prótons e nêutrons. São as chamadas forças nucleares, responsáveis pela manutenção da estabilidade do núcleo e que tem um raio de ação pequeno (somente atuam dentro do núcleo). Nucleons, elétrons e a radiação eletromagnética podem ser emitidos por núcleos atômicos metaestáveis e é a essa emissão que denominamos radioatividade [2].

3.0 – A Descoberta da Radioatividade e a Radiação Ionizante

3.1 – Introdução

Na história da Física, o surgimento dos raios X (vide glossário) e da radioatividade constam de duas raras descobertas que aconteceram acidentalmente; os raios X, em 8 de novembro de 1895 pelo pesquisador alemão Wilhelm Konrad Roentgen e a radioatividade surge alguns meses depois, em 26 de fevereiro de 1896. A descoberta dos raios X desencadeou uma extraordinária mobilização tanto na Física como na Medicina, a ponto de um ano depois já haver mais de mil trabalhos publicados na área [3]. A figura 3 mostra algumas séries de emissão de raios X quando elétrons mudam de camada.

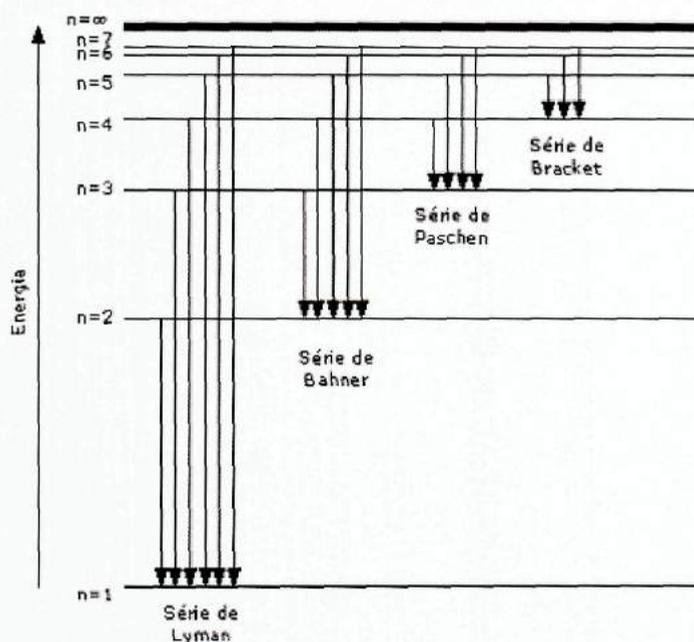


Figura 3: Os níveis de energia do átomo de hidrogênio e as várias séries de emissão. Cada nível de energia corresponde à energia associada ao movimento de um elétron numa órbita, como postulado por Bohr.

3.2 – A Descoberta da Radioatividade

Antoine Henri Becquerel (1852-1908) estava no meio daqueles que se envolveram na mobilização causada pela descoberta dos raios X. Becquerel, em 1896, anunciou que um sal de urânio com o qual ele fazia seus experimentos emitia radiações espontaneamente e mostrou-se mais tarde que tais radiações apresentavam características semelhantes às dos raios X, ou seja, atravessavam materiais opacos, causavam fluorescência e impressionavam chapas fotográficas.

Em 1898, Marie Curie descobriu que esse fenômeno não era propriedade exclusiva do urânio pois o tório também emitia raios, fenômeno que passou a ser chamado de radioatividade. A partir de outros minérios pesquisados, Marie descobriu um novo elemento

quatrocentas vezes mais radioativo que os anteriores e o chamou de polônio, homenageando sua terra natal.

Em 1902, Marie e seu marido Pierre Curie, conseguiram extrair de uma tonelada de minério de urânio cerca de um grama de um sal de um novo elemento, sendo dois milhões de vezes mais radioativo que os anteriores. A este novo elemento foi dado o nome de rádio. Um minúsculo fragmento desse sal de rádio mantém-se espontaneamente aquecido e brilhante, como um pequeno vaga-lume, durante anos [3].

Hoje, mais de um século depois, a radioatividade vem sendo utilizada para as mais diversas finalidades, sendo aplicada na medicina, na indústria, na agricultura, na geração de energia, em tecnologia de guerra e nas mais diversas áreas do conhecimento científico e tecnológico desenvolvidos pela imaginação do homem.

3.3 – Radiação Ionizante

Entendemos por radiação toda energia emitida por uma fonte e que se propaga de um ponto a outro sob a forma de um feixe de partículas elementares, ou de núcleos atômicos, ou ainda sob a forma de ondas eletromagnéticas. Um feixe de partículas elementares (elétrons, prótons, nêutrons, mésons) é chamado radiação corpuscular [4]. Mas esta denominação já não é mais discriminante porque já se comprovou experimentalmente que as partículas elementares têm propriedades ondulatórias e as ondas, por exemplo, de radiação eletromagnética, tem propriedades de partículas [2].

Ondas eletromagnéticas são ondas constituídas de campos elétricos e magnéticos oscilantes, perpendiculares entre si, e se propagam no vácuo com uma velocidade constante de 300.000 km/s. A energia de uma onda eletromagnética é quantizada, isto é, só pode assumir valores discretos, assim como a carga elétrica, que também é quantizada. Na interação da onda eletromagnética com a matéria, a absorção e a emissão de energia só ocorre em quantidades discretas, chamadas quanta ou fótons.

Sendo a energia de cada fóton diretamente proporcional à frequência da onda eletromagnética, quanto maior esta frequência, maior será a energia de seus fótons. Entre as ondas eletromagnéticas, em ordem crescente de frequência, estão as de rádio, as de TV, as microondas, a radiação infravermelha, a luz visível, a radiação ultravioleta, os raios X e os raios gama (vide glossário).

Todas as partículas sem carga e os fótons de raios X e gama possuem certa probabilidade de passar através de um meio material sem sofrer nenhuma interação com ele e, portanto, sem perder energia. Uma partícula carregada, ao contrário, sempre sofre colisões,

perdendo energia gradativamente, exceto em condições excepcionais, como por exemplo, nos supercondutores onde correntes elétricas podem ser observadas indefinidamente. Entretanto, este fenômeno só ocorre a baixas temperaturas o que não permite sua utilização para o transporte de energia elétrica.

A radiação é dita ionizante quando, na interação com os átomos e as moléculas do meio, arranca alguns de seus elétrons orbitais. Em consequência, surgem pares iônicos, cada um formado por um íon positivo (átomo que perdeu um elétron) e um íon negativo (elétron removido do átomo). Todas as partículas eletricamente carregadas produzem ionização diretamente, quando possuem energia para tal. Já as partículas neutras e os fótons de raios X ou raios gama, embora eles próprios não ionizem, produzem na interação com o meio partículas capazes de ionizar. Os dois tipos são chamados radiação ionizante ou, simplesmente radiação, capaz de resultar na quebra molecular de um meio material ionizando-o. Se este meio material for o tecido orgânico, por exemplo, e se não houver regeneração desta quebra molecular, poderá iniciar-se um dano biológico devido à ionização causada [4].

A atividade de um material radioativo resulta de três diferentes tipos de emanações. As partículas emitidas podem ter carga positiva (partícula alfa - α), ou negativa (partícula beta - β) ou serem neutras (nêutrons), embora os nêutrons que estão no núcleo se desintegram quando livres, produzindo um próton (carga positiva) e um elétron (carga negativa), uma outra radiação neutra (o neutrino) e energia, liberando 0,782 MeV. Nem todas as substâncias radioativas emitem simultaneamente essas emanações. Alguns elementos emitem partículas alfa, outros emitem partículas beta, enquanto os raios gama são emitidos algumas vezes por um desses dois tipos de elementos e outras vezes pelo outro [2]. Além do mais, nenhum processo macroscópico simples, físico ou químico, tal como aumento ou diminuição da temperatura, combinação química com outras substâncias radioativas etc., pode mudar ou alterar de algum modo a atividade de uma dada amostra. Suspeitou-se, então, desde o início, que a radioatividade é um processo nuclear e que a emissão de uma partícula carregada pelo núcleo de um átomo resulta na transformação para outro átomo diferente, ocupando um lugar diferente na tabela periódica. Em outras palavras, a radioatividade envolve a transmutação de elementos.

3.4 – Radiação Alfa (partícula alfa - α)

As partículas alfa são carregadas positivamente. A velocidade de uma partícula alfa emitida por uma dada fonte radioativa, tal como rádio, pode ser medida observando-se sua trajetória quando esta penetra na região de um campo magnético de valor conhecido. Tais

experiências mostram que as partículas alfa são emitidas com velocidades muito elevadas, da ordem de 16.000 km/s. Embora tendo velocidades tão grandes, as partículas alfa só são capazes de percorrer alguns centímetros no ar ou algumas dezenas de milímetros nos sólidos, antes de atingirem o repouso por colisões [5].

Rutherford e Royds coletaram partículas alfa em um tubo de descarga de vidro durante um período de cerca de seis dias e então estabeleceram uma descarga elétrica no tubo. Examinando o espectro da luz emitida, identificaram o espectro característico do hélio e concluíram, sem sombra de dúvida, que as partículas alfa são núcleos de hélio.

Dentre as radiações ionizantes, as partículas alfa são as mais pesadas e de maior carga e por isso elas são menos penetrantes que as partículas beta e a radiação gama. As partículas alfa são completamente barradas por uma folha comum de papel e seu alcance no ar não ultrapassa mais que dez ou dezoito centímetros. Mesmo a partícula alfa com maior alcance (com maior energia) não consegue atravessar a camada morta da pele do corpo humano. A partícula alfa originada fora do corpo do indivíduo não oferece perigo à saúde humana. No entanto, se o material radioativo emissor de partícula alfa estiver dentro do corpo ele será uma das fontes mais danosas de exposição à radiação. A partícula alfa quando emitida internamente ao corpo do indivíduo depositará sua energia em uma pequena área, produzindo grandes danos nesta área [6]. Portanto, elas só são perigosas quando emitidas de dentro do tecido biológico, isto é, quando o corpo foi “**contaminado**” pelo material radioativo [2].

3.5 – Radiação Beta (Partículas Beta - β)

As partículas beta são elétrons emitidos pelo núcleo de um átomo instável. Essas partículas são carregadas, podendo ser defletidas em um campo elétrico ou magnético. Experiências de deflexão provam conclusivamente que as partículas beta têm a mesma massa do elétron mas podem ter cargas positivas (β^+) ou negativas (β^-). As radiações β^+ (conhecidas como pósitrons) são rapidamente aniquiladas após a emissão, o que resulta na emissão de radiação gama. São emitidas com velocidades muito elevadas, atingindo algumas delas o valor de 0,9995 da velocidade da luz [5].

As partículas beta são menores e mais leves que as partículas alfa, movimentam-se muito mais rápido, e apresentam maior poder de penetração em qualquer material. Estas partículas podem penetrar vários milímetros na pele, mas não penetram uma distância suficiente para alcançar os órgãos mais internos do corpo humano no entanto, apresentam um risco maior quando emitidas por materiais radioativos depositados internamente ao corpo ou quando irradiam diretamente a pele e o cristalino dos olhos [6].

Em núcleos instáveis betaemissores, um nêutron pode se decompor em um próton, um elétron e um antineutrino permanece no núcleo, um elétron (partícula beta) e um antineutrino são emitidos. Assim, ao emitir uma partícula beta, o núcleo tem a diminuição de um nêutron e o aumento de um próton. Desse modo, o número de massa permanece constante.

3.6 – Radiação Gama (Raios Gama - γ)

Ao contrário das radiações alfa e beta, que são constituídas por partículas, a radiação gama é formada por ondas eletromagnéticas emitidas por núcleos instáveis logo em seguida à emissão de uma partícula alfa ou beta. As características físicas da radiação eletromagnética incluem o comprimento e a frequência de onda. Cada tipo de radiação eletromagnética possui comprimento e frequência de onda característicos. Pela medida destas características, pode ser identificado o tipo de radiação.

O céσιο-137 ao emitir uma partícula beta, seus núcleos se transformam em bário-137. No entanto, pode acontecer de, mesmo com a emissão, o núcleo resultante não eliminar toda a energia de que precisaria para se estabilizar. A emissão de uma onda eletromagnética (radiação gama) ajuda um núcleo instável a se estabilizar, tornando-se estável.

É importante dizer que, das várias ondas eletromagnéticas (radiação gama, raios X, microondas, luz visível, etc.), apenas os raios gama são emitidos pelos núcleos atômicos ou pela aniquilação dos pósitrons (β^+) e que toda radiação eletromagnética tem a mesma velocidade no vácuo, igual à velocidade da luz que é de 300.000 km/s e não transporta carga elétrica. O espectro de raios gama de qualquer elemento é um espectro de raios, onde cada raia corresponde aos gamas emitidos quando um núcleo procede de um estado de maior energia de excitação para um de menor energia. Assim como os raios X, os raios gama são extremamente penetrantes, sendo detido somente por uma parede de concreto ou metal. Na figura 4 mostramos alguns exemplos de fontes emissoras de ondas eletromagnéticas.

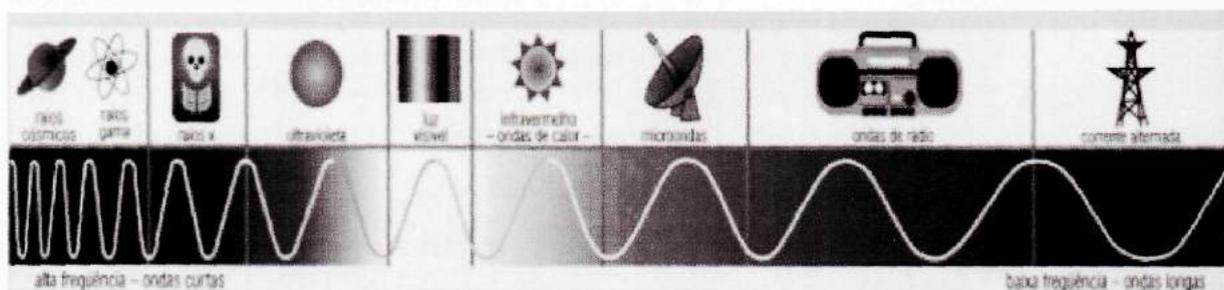


Figura 4: Ondas Eletromagnéticas

Em média, a energia da radiação gama é bem superior a de qualquer outra radiação eletromagnética, portanto não podemos identificar a radiação gama utilizando a técnica de difração. A identificação da radiação gama é normalmente feita em emissão secundária que

aparece quando a radiação gama penetra na matéria. Experiências dessa natureza levaram à conclusão que os “raios gama” são ondas eletromagnéticas de comprimento de onda extremamente pequenos, cerca de 1/100 do comprimento de onda dos raios X ou menores [5].

Mostramos na figura 5, uma ilustração para que possa ser feita uma comparação em relação às radiações ionizantes e suas formas de blindagens características. Pode-se perceber que se tratando de partículas alfa uma simples folha de papel pode contê-la. Tratando-se de partículas beta, é necessário um aparato protetor de alumínio para que possa barrar a sua passagem. Os raios X só são retidos por uma proteção de chumbo ou de aço de 1 mm de espessura. Já como proteção aos raios gama, utiliza-se para a proteção uma parede de concreto de 60 cm de espessura pois estas radiações são extremamente energéticas de comprimento de onda muito pequenos.

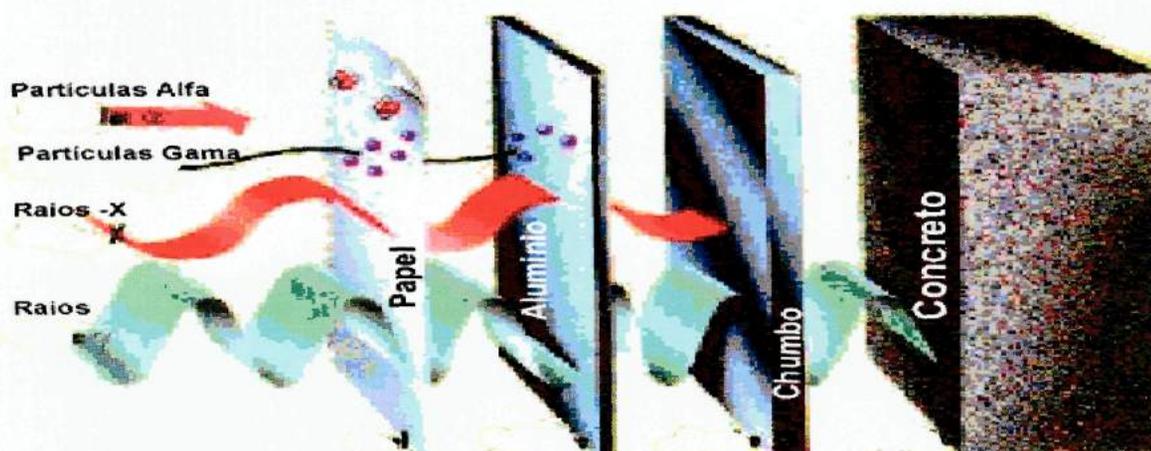


Figura 5: Radiações ionizantes e suas formas de blindagens características

4.0 – Aplicações da Radioatividade

4.1 – Introdução

A radiação ionizante tornou-se há muitos anos parte integrante da vida do homem. Sua aplicação se dá desde a área da medicina, indústrias, agricultura, até às armas bélicas, e sua utilidade é indiscutível. Atualmente, por exemplo, a sua utilização em alguns exames de diagnóstico médico, através da aplicação controlada da radiação ionizante (a radiografia é mais comum), é uma metodologia de extremo auxílio. Porém os efeitos da radiação não podem ser considerados inócuos, a sua interação com os seres vivos pode levar a teratogênias (desenvolvimento de seres mal formados) e até à morte. Os riscos e os benefícios devem ser ponderados. A radiação é um risco que deve ser considerado em mesmo pé de igualdade com os seus benefícios.

4.2 – Saúde

O uso de materiais radioativos na medicina engloba tanto o diagnóstico como a terapia, sendo eles ferramentas essenciais na área de oncologia (vide glossário).

4.2.1 – Radioterapia

Consiste na utilização da radiação gama, raio X ou feixes de elétrons para o tratamento de tumores, eliminando células cancerígenas e impedindo o seu crescimento. O tratamento consiste na aplicação programada de doses elevadas de radiação, com a finalidade de atingir as células cancerígenas, causando o menor dano possível aos tecidos sãos, intermediários ou adjacentes.

4.2.2 – Braquiterapia

Trata-se de radioterapia localizada para tipos específicos de tumores e em locais específicos do corpo humano. Para isso são utilizadas fontes radioativas emissoras de radiação gama de baixa e média energia, encapsuladas em aço inox ou em platina, com atividade da ordem das dezenas de curies (vide glossário). A principal vantagem é devido à proximidade da fonte radioativa afetar mais precisamente as células cancerígenas e danificar menos os tecidos e órgãos próximos. Neste caso, a fonte radioativa é posicionada em contato direto com o tumor ou inserida no mesmo.

4.2.3 – Aplicadores

São fontes radioativas de emissão beta distribuídas numa superfície, cuja geometria depende do objetivo do aplicador. Os aplicadores mais usados são os dermatológicos e os

oftalmológicos. A utilidade de operação é a aceleração do processo de cicatrização de tecidos submetidos a cirurgias, evitando sangramentos e quelóides, de modo semelhante a uma cauterização superficial. A atividade das fontes radioativas é baixa e não oferece risco de acidente significativo sob o ponto de vista radiológico. O importante é o controle do tempo de aplicação no tratamento, a manutenção da sua integridade física e armazenamento adequado dos aplicadores.

4.2.4 – Radioisótopos

Radioisótopos são elementos químicos cujos núcleos se desintegram, emitindo radiação com poder ionizante. Existem terapias medicamentosas que contêm radioisótopos que são administrados diretamente no paciente por meio de ingestão ou injeção, com a garantia da sua deposição preferencial em determinado órgão ou tecido do corpo humano, com o qual possui afinidade. A radiação emitida produz uma imagem que revela o tamanho, a forma, as condições do órgão e, principalmente sua dinâmica de funcionamento. Por exemplo, isótopos de iodo para o tratamento do tumor na tiróide.

4.3 – Diagnóstico

Os componentes radioativos são também muito utilizados no diagnóstico de doenças. Na figura 6 podemos ver o preparo pelo Ipen para distribuição em todo o Brasil.

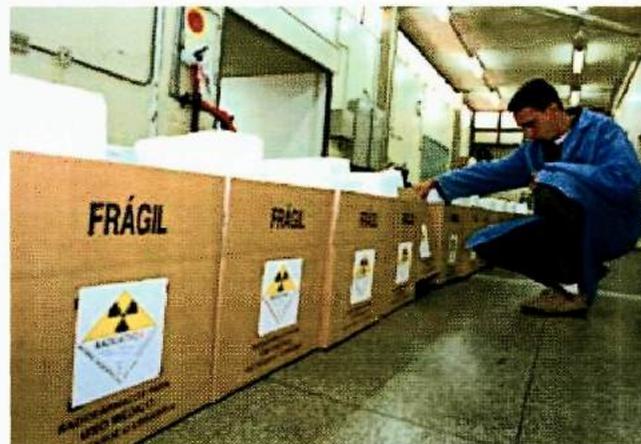


Figura 6: O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Ipen, distribui para todo o Brasil componentes radioativos usados no diagnóstico e tratamento de doenças como câncer.

4.3.1 – Radiografia

A radiografia é uma imagem obtida, por um feixe de raios X ou raios gama que atravessa a região de estudo e interage com uma emulsão fotográfica ou tela fluorescente. Existe uma grande variedade de tipos, tamanhos e técnicas radiográficas. As doses absorvidas

de radiação dependem do tipo de radiografia. Como existe a acumulação da radiação ionizante, não se devem tirar radiografias sem necessidade e, principalmente, com equipamentos fora dos padrões de operação. O risco de dano é maior para o operador, que executa rotineiramente muitas radiografias por dia. Para evitar exposição desnecessária, deve-se ficar o mais distante possível, no momento do disparo do feixe ou protegido por um biombo com blindagem de chumbo.

4.3.2 – Tomografia

O princípio da tomografia consiste em ligar um tubo de raios X a um filme radiográfico por um braço rígido que gira ao redor de um determinado ponto, situado num plano paralelo à película. Assim, durante a rotação do braço, produz-se a translação simultânea do foco (alvo) e do filme. Obtêm-se imagens de planos de cortes sucessivos, como se observássemos fatias seccionadas, por exemplo, do cérebro, como mostra a figura 7. Não apresenta riscos de acidente pois é operada por eletricidade, e o nível de exposição à radiação é similar. Não se devem realizar exames tomográficos sem necessidade, devido à acumulação de dose de radiação.



Figura 7: Imagens de tomografia computadorizada.

4.3.3 – Mamografia

Consiste no exame radiológico que avalia as mamas e seus problemas. Atualmente a mamografia é um instrumento que auxilia na prevenção e na redução de mortes por câncer de mama. Como o tecido da mama é difícil de ser examinado com o uso de radiação penetrante devido às pequenas diferenças de densidade e textura de seus componentes como o tecido adiposo e fibroglandular, a mamografia possibilita somente suspeitar e não diagnosticar um tumor maligno. O diagnóstico é complementado pelo uso da biópsia e ultra-sonografia. Com estas técnicas, permite-se a detecção precoce em pacientes assintomáticos e imagens de melhor definição em pacientes sintomáticas. A imagem é obtida com o uso de um feixe de raio X de baixa energia, produzidos em tubos especiais, após a mama ser comprimida entre duas placas. O risco associado à exposição à radiação é mínimo, principalmente quando comparado com o benefício obtido.

4.4 – Indústria

Na indústria, os materiais radioativos têm uma grande variedade de usos, destacando-se, principalmente, o controle de processos e produtos, o controle de qualidade de soldas e a esterilização. Medidores de nível, espessura, densidade e detectores de fumaça utilizam princípios semelhantes. Uma fonte radioativa é colocada em posição oposta a um detector e o material a ser controlado, que passa entre a fonte e o detector age como blindagem da radiação, fazendo com que o fluxo detectado varie [6].

A aplicação de radioisótopos mais conhecida na indústria é a gamagrafia (radiografia de peças metálicas através da exposição das peças à radiação gama nuclear), onde um dos núcleos utilizados é o cobalto-60. Os fabricantes de válvulas, por exemplo, usam a gamagrafia, na área de Controle da Qualidade, para verificar se há defeitos ou rachaduras no corpo das peças. As empresas de aviação fazem inspeções freqüentes nos aviões através de gamagrafia, para verificar se há “fadiga” nas partes metálicas e soldas essenciais sujeitas a maior esforço (por exemplo, nas asas e nas turbinas) [7]. O Controle da Qualidade de soldas baseia-se na impressão de chapas fotográficas por raios gama, mostrando a estrutura interna da solda e eventuais defeitos.

Através da eliminação de microorganismos pela exposição à radiação ionizante, a indústria farmacêutica esteriliza seringas, luvas cirúrgicas e material farmacêutico descartáveis em geral (figura 8). Seria praticamente impossível esterilizar, pelos métodos convencionais (que necessitam de altas temperaturas) tais materiais, que se deformariam ou se danificariam de tal forma que não poderiam ser mais utilizados, justificando o uso de tais métodos.



Figura 8: Radiação é usada na produção e esterilização de equipamentos médicos e cirúrgicos.

Radioisótopos são usados em hidrologia para medição de várias grandezas, como vazão de rios, direção de correntes marinhas, direção e vazão do fluxo subterrâneo de águas e taxa de infiltração de água no solo [6].

4.5 – Agricultura e Preservação de Alimentos

É possível acompanhar, com o uso de traçadores radioativos, o metabolismo das plantas, verificando o que elas precisam para crescer, o que é absorvido pelas raízes e pelas folhas e onde um determinado elemento químico fica retido. Uma planta que absorveu um traçador radioativo pode, também, ser “radiografada”, permitindo localizar o radioisótopo. Para isso, basta colocar um filme, semelhante ao usado em radiografias e abreugrafias, sobre a região da planta durante alguns dias e revelá-lo. Obtém-se o que se chama de autoradiografia da planta.

A técnica do uso de traçadores radioativos também possibilita o estudo do comportamento de insetos, como abelhas e formigas. Ao ingerirem radioisótopos, os insetos ficam marcados, porque passam a “emitir radiação”, e seu “raio de ação” pode ser acompanhado. No caso de formigas, descobre-se onde fica o formigueiro e, no caso de abelhas, até as flores de sua preferência [7].

Os produtos gerados durante o processo de colheita, ou mesmo produtos de origem animal, podem ter seu período de preservação estendido através da exposição de alimentos, embalados ou não, à radiação ionizante (radiação gama, raio X ou feixe de elétrons). Duas das grandes vantagens geradas por este método são a não alteração da qualidade do alimento e a inexistência de resíduos tóxicos. Podemos ver nas figuras 9 e 10 respectivamente, um alimento que foi irradiado e o símbolo internacional que indica que o mesmo foi submetido a tal procedimento.

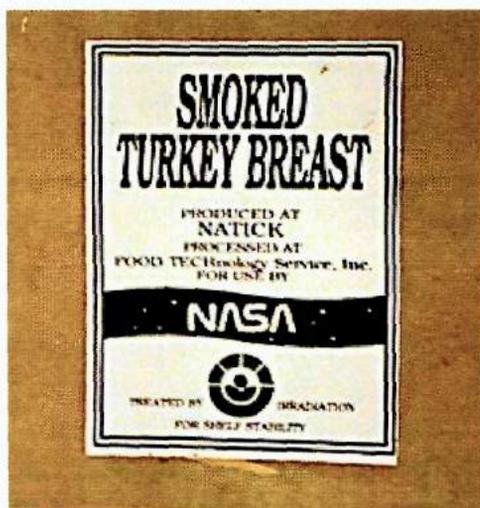


Figura 9: Peito de peru distribuído para a Nasa contém o símbolo indicando que o produto foi irradiado.



Figura 10: Símbolo internacional do alimento que recebeu radiação.

A tecnologia de preservação de alimentos por ionização em consequência de irradiação tem recebido uma crescente atenção de todo o mundo, junto com os métodos tradicionais de preservação de alimentos. As autoridades de vigilância sanitária e de segurança alimentar de

37 países, inclusive o Brasil, aprovaram a irradiação de vários tipos de alimentos, englobando especiarias, carne de frango, frutas e legumes. O desconhecimento do assunto leva à idéia errônea de que os alimentos “seriam contaminados pela irradiação” ou que ficariam radioativos, o que em ambos os casos, constitui uma inverdade técnica e científica.

É importante ressaltar que, economicamente, a tecnologia de preservação de alimentos é a mais significativa para o Brasil, pois somos um dos maiores produtores de perecíveis no mundo, o que de fato abre campo para a aplicação da radiatividade na indústria de alimentos e fomenta pesquisas cada vez mais modernas nessa área [2].

4.6 – Geração de Energia

A cada dia novas técnicas nucleares são desenvolvidas nos diversos campos da atividade humana, possibilitando a execução de tarefas impossíveis de serem realizadas pelos meios convencionais.

A aplicação de maior vulto é a conversão da energia nuclear para energia elétrica, o que se obtém nos reatores nucleares de potência, como os existentes em Angra dos Reis no Estado do Rio de Janeiro. De uma forma bem simples, um reator nuclear é um equipamento onde se processa uma reação de fissão nuclear. Um reator nuclear para gerar energia elétrica é, na verdade, uma central térmica, onde a fonte de calor é o urânio-235, em vez do óleo combustível ou carvão. É, portanto, uma Central Térmica Nuclear. Não há diferença entre a energia gerada por uma fonte convencional (hidroelétrica ou térmica) e a energia elétrica gerada por um reator nuclear. A grande vantagem de uma central térmica nuclear é a enorme quantidade de energia que pode ser gerada, ou seja, a potência gerada, com pouco combustível (o urânio-235). Na figura 11 podemos ver o diagrama interno de funcionamento de uma usina termo-nuclear.

Podemos fazer uma pequena comparação entre as quantidades de combustíveis, em massa, para a geração da mesma quantidade de energia: 10 g de urânio-235 equivale a 700 kg de óleo ou a 1200 kg de carvão.

A técnica utilizada para se obter a liberação da energia nuclear é chamada de **fissão nuclear**, baseada na possibilidade de partir-se ou dividir-se o núcleo de um átomo pesado, isto é, com muitos prótons e nêutrons, em fragmentos (núcleos) menores, através do impacto de um nêutron. A energia que mantinha juntos esses núcleos menores, antes constituindo um só núcleo maior, é liberada e na maior parte convertida em calor (energia térmica).

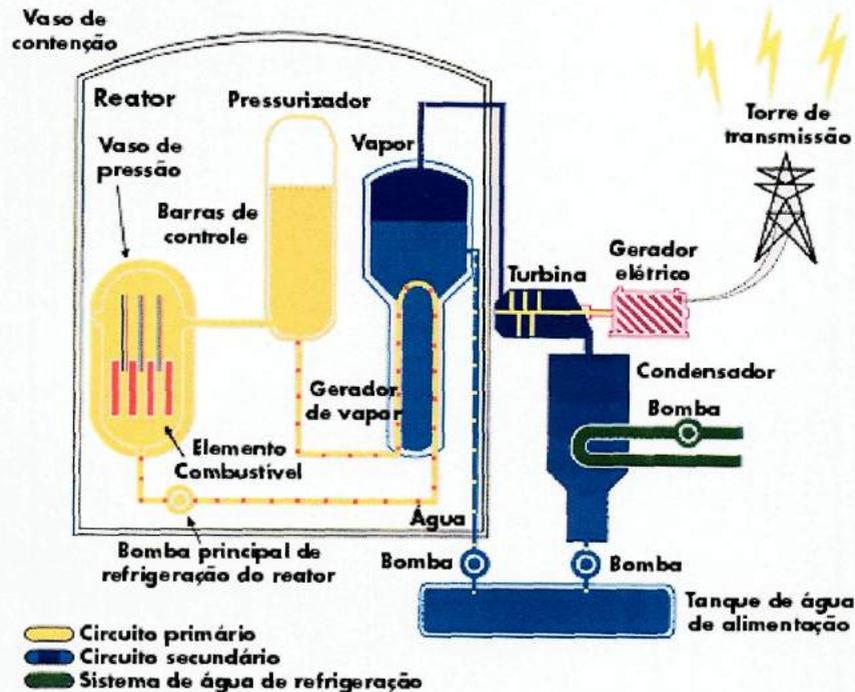


Figura 11: Diagrama de funcionamento de uma usina termo-nuclear.

A divisão de um núcleo de um átomo pesado, por exemplo, o urânio-235, em núcleos menores, quando atingido por um nêutron, é denominado fissão nuclear. Na realidade, cada reação de fissão nuclear libera, além dos núcleos menores, dois a três nêutrons como consequência da absorção de um único nêutron que causou a fissão. Cria-se assim a possibilidade que os nêutrons liberados atinjam outros núcleos de urânio-235, sucessivamente, gerando mais energia. Tal processo é denominado reação de fissão nuclear em cadeia ou, simplesmente, reação em cadeia. Esta reação em cadeia é preciso ser controlada pois, em condições normais, continuará acontecendo até consumir quase todo o material fissil (o combustível nuclear).

A forma de controlar a reação em cadeia consiste na eliminação do agente causador da fissão: o nêutron. Não havendo nêutrons disponíveis, não pode haver reação de fissão em cadeia. Os núcleos de alguns elementos químicos, como o boro e o cádmio, têm a propriedade de absorver nêutrons, resultando na formação de isótopos mais pesados de boro e de cádmio. A grande aplicação do controle de reação em cadeia nos reatores nucleares com barras de cádmio permite que a geração de energia elétrica seja ajustada às necessidades de consumo desta energia pela população.

A quantidade de urânio-235 na natureza é muito pequena: para cada 1000 átomos de urânio, sete são de urânio-235 e 993 são de Urânio-238 (a quantidade dos demais isótopos é desprezível). Para ser possível a ocorrência de uma reação de fissão nuclear em cadeia, é necessário haver quantidade suficiente de urânio-235, que é fissionado por nêutrons de

qualquer energia, preferencialmente os de baixa energia, denominados nêutrons térmicos (“lentos”). O urânio encontrado na natureza precisa ser tratado industrialmente, com o objetivo de elevar a proporção (ou concentração) de urânio-235 para urânio-238, de 0,7% para cerca de 3,2%. Para isso deve, primeiramente, ser purificado e convertido em gás.

Podemos ver nas figuras 12 e 13 imagens das usinas de nucleares de Angra I e II, onde são utilizados urânio-235 como combustível nuclear para a geração de energia elétrica.



Figura 12: Vista geral das usinas de Angra I e II



Figura 13: Prédio do reator da usina de Angra I

O processo físico de retirada de urânio-238 do urânio natural, aumentando, em consequência, a concentração de urânio-235, é conhecido como enriquecimento de urânio. Se o grau de enriquecimento for muito alto (acima de 90%), isto é, se houver quase só urânio-235, pode ocorrer uma reação em cadeia muito rápida, de difícil controle, mesmo para uma quantidade relativamente pequena de urânio, passando a constituir-se em uma explosão: é a “**bomba atômica**” (figura 14). Foram desenvolvidos vários processos de enriquecimento de urânio e por se tratarem de tecnologias sofisticadas e estratégicas, os países que as detêm oferecem empecilhos para que outras nações tenham acesso a elas.

Se um átomo fosse do tamanho de uma sala, seu núcleo não seria maior que um grão de areia. Mesmo assim, este diminuto ponto de matéria é mantido em forma por forças tão poderosas que quando se parte um núcleo instável, como o do urânio-235, a energia desprendida por alguns quilos daquele metal é equivalente a explosão de milhares de toneladas de dinamite.

Existe um outro método para a liberação de energia nuclear, que se dá por meio da fusão de dois núcleos leves. Esse método é chamado simplesmente de **fusão** [2].

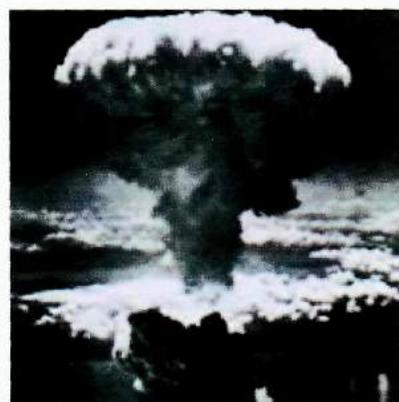


Figura 14: Energia, Explosão de uma bomba atômica.

O exemplo mais comum de um processo de fusão ocorre quando se fundem isótopos de hidrogênio para formar o elemento hélio, onde é liberado nesse processo 17,6 MeV. Este processo é predominante nas estrelas e é mais eficiente do que a fissão de núcleos pesados, como o urânio ou o plutônio. As temperaturas incrivelmente altas produzidas por tais explosões atômicas tornaram possíveis a ainda mais pavorosa com a reação por fusão da “bomba de hidrogênio”.

4.7 – Outras Aplicações

Estudos recentes indicam que deverá faltar água potável para suprir as necessidades da humanidade, inclusive no Brasil. Uma saída para resolver este problema poderá ser a dessalinização da água do mar nos reatores nucleares. Atualmente têm-se estudos avançados em reatores que oferecem a opção de geração de eletricidade em conjunto com dessalinização de água do mar, que corresponde, de fato, às necessidades urgentes de muitos países em desenvolvimento. A falta de água potável é generalizada no mundo, enquanto temos água em abundância no mar. A dessalinização é uma maneira efetiva de fornecer água para os povos do mundo. Essa é uma das aplicações futura mais importante em vista [2].

Dentre as inúmeras contribuições que o uso de materiais radioativos traz para o dia-a-dia de nossa sociedade, resultando na melhoria da qualidade de vida, pode-se citar, além dos usos já descritos, a esterilização de esgotos urbanos, a identificação e quantificação de metais pesados no organismo humano, as baterias de marca-passos, as fontes luminosas para avisos de emergência, etc.

Mostramos na figura 15 uma câmara de radiação do Ipen, que pode ser utilizada para esterilizar diversos produtos.



Figura 15: Entre outras funções, a câmara de radiação do Ipen é utilizada para esterilizar produtos.

5.0 – Acidentes Radioativos, Chernobyl (1986) e Goiânia (1987)

5.1 – Introdução

Desde a crise dos mísseis em Cuba até a desintegração da União Soviética nos anos noventa, toda a humanidade viveu o pesadelo do holocausto nuclear. O espalhamento de poeira radioativa contaminaria todos os habitantes do planeta e as alterações climáticas fariam com que se tornasse impossível a vida de seres vivos na Terra. Num acidente radioativo, o material que emite radiação ionizante é “vaporizado” sendo capaz de contaminar uma grande área. Não se destrói fisicamente uma grande região porém, mata os seus habitantes de câncer com o passar de alguns anos e torna vastas regiões inúteis para qualquer atividade humana durante muito tempo.

5.2 – Acidentes Radioativos

Se pensarmos que um acidente radioativo, é muito mais fácil de ocorrer do que uma guerra nuclear, uma ocorrência dessa causaria uma histeria coletiva nas pessoas devido ao medo da população da radiação invisível e desconhecida.

Imaginemos que na ocorrência de um acidente envolvendo radiação ionizante, as pessoas não possam ser evacuadas rapidamente do local, inalando poeira contendo material radioativo como o plutônio ou amerício, caso em que ambos emitem partículas alfa. Esse material radioativo pode ficar alojado nos pulmões de um indivíduo por muitos anos, sendo capaz de causar danos típicos de uma exposição radioativa prolongada. Por outro lado, podemos ter, também, um acidente com material radioativo contendo césio-137, o qual emite radiação gama que passa através da roupa e da pele além de ligar-se quimicamente com facilidade ao vidro, concreto e asfalto, fazendo com que sua remoção seja muito difícil. Um acidente radioativo com césio-137 contaminaria vários quilômetros quadrados, o que seria um grande desastre para uma cidade com grande população.

A Agência Internacional de Energia Atômica declarou que praticamente todas as nações do mundo têm materiais radioativos e que mais de cem países não possui um controle adequado para prevenir os acidentes que possam envolver esses materiais.

Em 1987, foi encontrado num ferro velho em Goiânia um aparelho médico contendo o material radioativo césio-137. Aproximadamente 250 pessoas foram expostas à radiação, quatro morreram e várias estão com câncer. O acidente produziu 3500 metros cúbicos de lixo radioativo e devastou a economia local.

Num caso de acidente desta magnitude, a população mais próxima é condenada a sofrer as conseqüências do mal invisível, para o qual nem sempre está esclarecida. Faz-se necessário

um trabalho de conscientização e informação levando desta maneira o conhecimento para as pessoas. Só através de iniciativas como esta, de caráter social, a população será capaz de entender o que realmente acontece num acidente deste tipo e como deverá se proteger.

5.3 – O Acidente Radioativo de Chernobyl

Dia 26 de abril de 1986, era madrugada na cidade de Pripjat e tudo corria absolutamente normal, não fosse um acidente fatal ocasionado pela explosão do reator número quatro da usina nuclear de Chernobyl. Naquela manhã a Europa despertou como se estivesse em um pesadelo. Em Pripjat não restou um habitante pois a radiação varreu absolutamente tudo. A cidade foi abandonada e o acidente nuclear inutilizou por centenas de anos uma área equivalente a 140.000 quilômetros quadrados, aproximadamente um país e meio como o de Portugal.

A organização das Nações Unidas acredita que ainda podem estar vivendo nas áreas contaminadas pela radiação, cerca de seis milhões de pessoas. Por motivos relacionados a este acidente, morreram entre quinze e trinta mil cidadãos; a incidência de câncer de tiróide em crianças é atualmente cerca de mil vezes mais alta do que a que existia antes do acidente de 1986.

Ainda no ano de 2002, exatamente dezesseis anos após a tragédia, o chefe da Comissão de Segurança Radioativa do governo ucraniano, Dmytro Hrodzynskyy, alertou para o fato de que os níveis de radiação em Chernobyl continuavam aumentando. De acordo com as declarações de Dmytro, o restante do combustível que ainda existe dentro do reator que causou o acidente (protegido hoje em dia por uma forte crosta de concreto) continua esquentando. O que ocorre agora é que a carcaça de concreto que reveste o reator danificado está sem conservação, possibilitando o escape da radioatividade para o meio ambiente.

O acidente de Chernobyl marcará para sempre a história da humanidade pois destaca-se como o maior desastre civil nuclear da história, o qual deformou pessoas e o meio ambiente, ceifou sonhos, liquidou projetos e deixou nas pessoas a mágoa de terem sido vítimas do invisível e do desconhecido.

Quando ocorreu o acidente, os bielo-russos não foram logo informados. Os moradores do local contam que na época do acontecimento só foram avisados algumas semanas depois e, como consequência, as crianças receberam a maior parte da radiação antes de serem mandadas para a casa de parentes distantes [8].

A contaminação deixou marcas no dia-a-dia da região pois, na cidade de Dobrush (localizada a 150 quilômetros de Chernobyl) os habitantes não podem comer cogumelos,

frutas silvestres, frango e principalmente peixes pois vários rios, lagos e a vegetação ainda estão contaminados. Além dos eletrodomésticos comuns nos lares residenciais, os habitantes dessa pacata cidade utilizam também os medidores de contaminação dos alimentos.

Hoje, passados vinte anos do acidente nuclear, o drama das vítimas contaminadas pela radiação ainda chama atenção de assistentes sociais do mundo inteiro. Nos países afetados pela radiação as estatísticas das vítimas humanas não são confiáveis, podendo existir muito mais casos de pessoas contaminadas do que se pode perceber pelos números oficiais apresentados pelos governos. Fazendo um passeio pelos campos dos países atingidos, podem ser encontradas crianças com câncer, jovens com catarata, reumatismo ou problemas cardíacos, além de pessoas sofrendo de envelhecimento precoce [8].

Um acidente nuclear é, ainda hoje, muito estranho por ser invisível. Nada se vê, nada se sente e não há cheiro. Ao entrar num vilarejo daquela área atingida pelo acidente, tudo parece igual a qualquer outro lugar no Leste da Europa; a primeira vista parece difícil aceitar que ali houve uma catástrofe. É preciso visitar hospitais e conversar com médicos para entender onde está o problema hoje em dia.

Veja na figura 16 uma ilustração do acidente nuclear de Chernobyl.

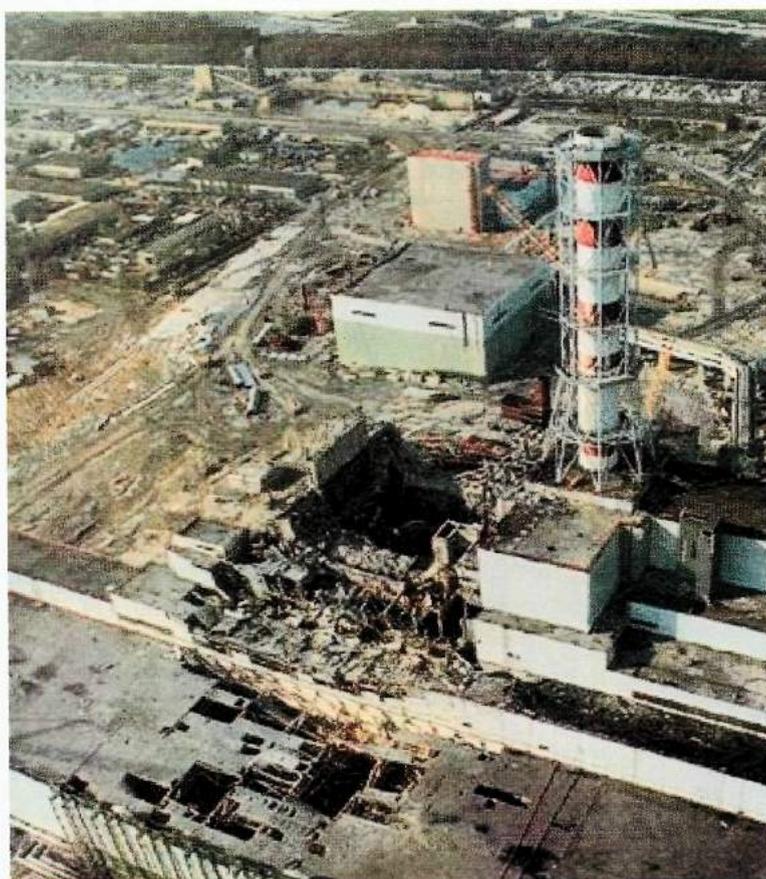


Figura 16: Acidente Nuclear de Chernobyl.

5.4 – O Acidente Radioativo de Goiânia

No dia 13 de setembro de 1987, os catadores de sucata Roberto Santos Alves e Wagner Mota Pereira entraram num casarão abandonado na Avenida Paranaíba, centro de Goiânia, onde funcionou o Instituto Goiano de Radioproteção (IGR). Saíram carregando um cilindro de ferro de 120 kg, sem saberem que se tratava de uma velha fonte radioativa para tratamento de radioterapia que tinha sido abandonado pela clínica que se mudara para novas instalações. Durante quatro dias, malharam a peça a golpes de marreta até fazê-la em pedaços. Um deles tinha a aparência de uma marmitta lacrada. Em seguida, venderam a sucata, ou seja, o cabeçote destruído de uma bomba de césio, usada em tratamento de câncer, a Devair Alves Ferreira, dono de um ferro-velho.

Devair violou o lacre da "marmitta" com chave de fenda e foi surpreendido pela luminosidade de uma pedra azul. Deslumbrou-se. Ofereceu o falso brilhante para a mulher, Maria Gabriela. Distribuiu amostras entre os vizinhos, os parentes, a amante. E ficou furioso quando Maria Gabriela, cismada com os efeitos malignos da pedra, levou a tal "marmitta" para ser vistoriada na Secretaria de Vigilância Sanitária. Devair já estava perdendo dentes e cabelo. A pele enegrecia. E todos caíam doentes na vizinhança. Henrique Santillo, então governador de Goiás, jura ter tomado conhecimento desses fatos duas semanas depois que a cápsula foi encontrada pelos sucateiros. Idem para a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), órgão responsável pela fiscalização e controle das fontes radioativas no país.

Naqueles quinze dias aconteceu de tudo. Pessoas esfregaram a pedra no corpo, jogaram pedaços na privada. Houve quem a transportasse em ônibus e quase lançaram a "coisa ruim" no rio Capim Puba, que cruza Goiânia. A menina Leide das Neves Ferreira, de seis anos, filha de um sucateiro, fez pior. Comeu um ovo cozido com as mãozinhas reluzentes de Césio-137. Tornou-se, ela mesma, uma fonte radioativa. Morta dias depois, Leide foi enterrada num caixão de chumbo que pesava mais de 700 kg. O drama mal começava.

O inimigo público de Goiânia ganhou fama por causar o maior acidente radioativo do mundo. Atendia pelo nome de césio e tinha 19 gramas quando foi localizado pelas autoridades sanitárias. Mutante, dissolvia em água e emanava luz azulada em ambiente escuro. Uma década depois, "a coisa" ainda vive. A fonte de césio-137 que apavorou os brasileiros está num depósito a céu aberto, no município de Abadia, a 22 quilômetros do centro de Goiânia. Juntamente com outras cinco toneladas de lixo radioativo recolhido no processo de descontaminação da cidade, continuará a oferecer riscos à população e ao meio ambiente nos próximos trezentos anos.

Segundo dados estatísticos do governo na época do acidente, no período de 30 de setembro a 22 de dezembro de 1987, o posto de atendimento da Comissão Nacional de Energia Nuclear montado no Estádio Olímpico monitorou 112.800 pessoas. Desta população, apenas 249 foram identificadas com taxas de dose indicativas de contaminação externa ou interna. Dentre elas, 120 pessoas apresentaram contaminação somente no vestuário e calçado; 129 pessoas apresentaram contaminação interna e externa. Deste último grupo, 49 foram internadas. Dessas, 21 exigiram atendimento médico intensivo. Dos pacientes, dez apresentou estado grave com complicações no quadro clínico e radiodermites, tendo ocorrido quatro óbitos e a amputação do antebraço de um paciente. As demais pessoas foram liberadas após tratamento de descontaminação interna e externa, permanecendo sob acompanhamento médico [9].

Este acidente mostrou claramente não só o despreparo técnico do governo para enfrentar esse tipo de emergência, mas trouxe a tona a ignorância da população em relação a área nuclear. Excluída dos processos de informação tecnológica e mantida completamente desinformada, a população não foi capaz de assimilar a quantidade de notícias e boatos sobre o acidente. Com a finalidade de prestar tais esclarecimentos, uma vez que a CNEN não possuía mais crédito junto à população, foram criadas duas comissões que assumiram um caráter institucional. Uma delas, o Núcleo de Acompanhamento do Acidente Radiológico, surgiu por iniciativa da Universidade Federal de Goiás e a outra, a Fundação Leide das Neves Ferreira, formada pelo governo do estado com o objetivo de desenvolver um estudo epidemiológico.

Vinculou-se na mídia a idéia da “cidade contaminada” e isso provocou um impacto sócio econômico significativo em Goiânia. As pessoas não sabiam o que estava acontecendo, os garis recusavam-se a recolher o lixo, famílias inteiras estavam abandonando suas casas, o comércio despencou e a cidade viveu o terror de ser atacada por algo que sequer podia ser sentido. Tornou-se extremamente necessário que se fizesse um trabalho de forma a esclarecer as dúvidas da população e lhe desse condições de avaliar os riscos e as dimensões do fato ocorrido.

O grave acidente de Goiânia criou condições objetivas para ampliação da informação, reflexão e identificação das possibilidades de atuação de cada um, isto é, politização. O sentimento generalizado é o da vítima, dentro de um acidente sobre o qual não tem responsabilidade.

6.0 – Proteção Radiológica

6.1 - Introdução

Quando não se tinha ainda o entendimento adequado sobre os efeitos biológicos das radiações ionizantes, muitos radiologistas morreram no início do Século XX, por não conhecerem os danos causados por essas radiações.

Operárias que trabalhavam pintando painéis e ponteiros luminosos de relógio em New Jersey, entre 1917 e 1924, apresentaram lesões nos ossos e muitas delas morreram. Estes fatos despertaram a atenção da comunidade científica e fez com que fosse criado um novo ramo da ciência, a proteção radiológica, com a finalidade de proteger os indivíduos, regulamentando e limitando o uso das radiações em condições aceitáveis [6].

Algumas organizações foram criadas com o objetivo de aprofundar os estudos nesse campo e estabelecer normas de operação com material nuclear. A instituição mundial mais reconhecida neste setor é a Agência Internacional de Energia Atômica – AIEA, órgão oficial da Organização das Nações Unidas, criada em 1957 cuja sua sede fica em Viena. A AIEA promove a utilização pacífica da energia nuclear pelos países membros e tem publicado padrões de segurança e normas para manuseio seguro de materiais radioativos, transporte e monitoração ambiental. No entanto, existem críticas pelo fato de a AIEA ser a responsável que promove e fiscalizam atividades deste setor, duas atividades que podem gerar interesses conflitantes.

No Brasil, a utilização das radiações ionizantes e dos materiais radioativos e nucleares é regulamentada pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que também tem a função de desenvolver tecnologias nucleares.

Pode-se perceber, então, que para trabalhar com radiações ionizantes e com materiais radioativos, são necessários conhecimento e responsabilidade. O conhecimento sobre a radioatividade, por ser a melhor proteção, requer atenção especial de educadores.

6.2 – Unidades Utilizadas no Estudo da Radioatividade

Os núcleos instáveis de uma mesma espécie (mesmo elemento químico) e de massas diferentes, denominados radioisótopos, não transmutam ao mesmo tempo. As emissões de radiação são feitas de modo imprevisível e não se pode adivinhar o momento em que um determinado núcleo irá emitir radiação. Entretanto, numa amostra com grande quantidade de átomos radioativos é razoável esperar-se um certo número de emissões (ou transformações) em cada segundo. Essa taxa de transformações é denominada atividade da amostra [10].

A atividade de uma amostra radioativa (ou fonte radioativa) é medida em:

Bq (becquerel) = uma desintegração por segundo

Ci (curie) = $3,7 \times 10^{10}$ Bq

Como foi visto, um núcleo instável, fora da região de estabilidade nuclear tende a emigrar para esta região, emitindo partículas alfa ou beta. Em cada emissão de uma dessas partículas, há uma variação do número de prótons no núcleo, isto é, o elemento se transforma ou se transmuta em outro, de comportamento químico diferente. Essa transmutação também é conhecida como desintegração radioativa, designação não muito adequada, porque dá a idéia de desagregação total do átomo e não apenas da perda de sua integridade. Um termo mais apropriado é decaimento radioativo, que sugere a diminuição gradual de massa e atividade.

Cada elemento radioativo seja natural ou obtido artificialmente, transmuta (se desintegra ou decai) a uma taxa que lhe é característica. Para se acompanhar a duração (ou a vida) de um elemento radioativo foi preciso estabelecer uma forma de comparação. Por exemplo, quanto tempo leva para um elemento radioativo ter sua atividade reduzida à metade da atividade inicial? Esse tempo foi denominado meia-vida do elemento.

Meia-vida, portanto, é o tempo necessário para a atividade de um elemento radioativo ser reduzida à metade da atividade inicial [10].

Isso significa que, para cada meia-vida que passa, a atividade vai sendo reduzida à metade da anterior, até atingir um valor insignificante, que não permite mais distinguir suas radiações das do meio ambiente. Dependendo do valor inicial, em muitas fontes radioativas utilizadas em laboratórios de análise e pesquisa, após dez meias vidas, atinge-se esse nível. Entretanto, não se pode confiar totalmente nessa receita e sim numa medida com um detector apropriado, pois, nas fontes usadas na indústria e na medicina, mesmo após dez meias-vidas, a atividade da fonte ainda é geralmente muito alta.

Como exemplo prático, vejamos o caso do iodo-131, utilizado em Medicina Nuclear para exames de tireóide, que possui a meia-vida de oito dias. Isso significa que, decorridos oito dias, atividade ingerida pelo paciente será reduzida à metade. Passados mais oito dias, cairá à metade desse valor, ou seja, $\frac{1}{4}$ da atividade inicial e assim sucessivamente (veja um diagrama ilustrado na figura 17). Após oitenta dias (dez meias vidas), atingirá um valor cerca de 1000 vezes menor. Entretanto, se for necessário aplicar-se uma quantidade maior de iodo-131 no paciente, não se poderia esperar por dez meias-vidas (oitenta dias), para que a atividade na tireóide tivesse um valor desprezível. Isso inviabilizaria os diagnósticos que utilizam material radioativo, já que o paciente seria uma fonte radioativa ambulante e não poderia ficar confinado durante todo esse período.

Para felicidade nossa, o organismo humano elimina rápida e naturalmente, via fezes, urina e suor, muitas das substâncias ingeridas. Dessa forma, após algumas horas, o paciente poderá ir para casa, sem causar problemas para si e para seus familiares. Assim, ele fica liberado mas o iodo-131 continua seu decaimento normal na urina armazenada no depósito de rejeito hospitalar, até que possa ser liberado para o esgoto comum [10].

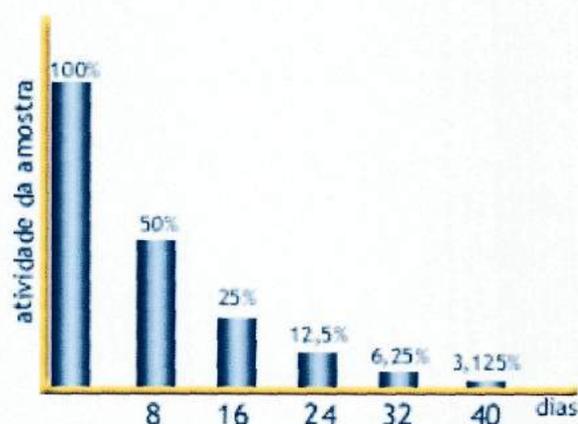


Figura 17: Atividade da amostra iodo-131.

6.3 – Irradiação e Contaminação

A irradiação é originada por algum tipo de procedimento com raios X (em radiodiagnóstico) ou com feixes de elétrons ou raios gama, em radioterapia. Nestes tratamentos, o paciente não se torna “radioativo” e portanto não há nenhum perigo de “contaminar” outras pessoas ou o meio ambiente. Irradiações severas podem entretanto acontecer no caso de explosões de usinas nucleares ou bombas atômicas. Nestas situações, o meio ambiente fica altamente radioativo e contamina as pessoas.

A contaminação pode ocorrer com fontes não seladas. Este é, por exemplo, o caso dos pacientes que fazem uso de procedimentos de Medicina Nuclear. Neste caso, os radiofármacos são injetados no paciente ficando o mesmo “radioativo”. Dependendo da dose a que foi submetido, poderá ter que ser isolado a fim de não contaminar outras pessoas ou o meio ambiente. Nesta situação, a fonte radioativa (radiofármaco) incorporou-se ao corpo do paciente que continua emitindo radiação. Os seres humanos podem ainda contaminar-se em acidentes como foi o caso de Goiânia em 1987. Neste acidente o céσιο-137 foi ingerido e passado sobre a pele de pessoas que ficaram contaminadas.

Há certas radiações que podem provocar radioatividade. A mais conhecida é a radiação de feixes de nêutrons dos reatores de potência. Os nêutrons podem gerar, em situações inesperadas, atividade nuclear, isto é portanto uma contaminação indireta.

É muito importante esclarecer a diferença entre contaminação radioativa e irradiação (veja a figura 18). Uma contaminação, radioativa ou não, caracteriza-se pela presença indesejável de um material em determinado local, onde não deveria estar.

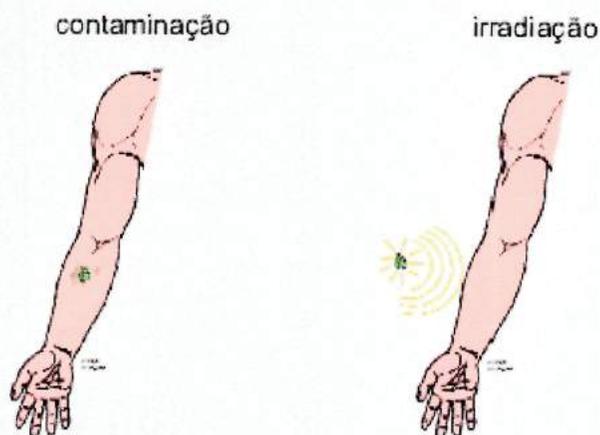


Figura 18: Contaminação e Irradiação.

A irradiação é a exposição de um objeto ou um corpo à radiação, o que pode ocorrer a alguma distância, sem necessidade de um contato íntimo.

Em condições controladas, irradiar, portanto, não significa contaminar. Contaminar com material radioativo implica em dispersar núcleos radioativos no ambiente e não em irradiar o ambiente.

Por outro lado, a descontaminação consiste em retirar o contaminante (material indesejável) da região onde se localizou. A partir do momento da remoção do contaminante, não há mais irradiação. Este é um procedimento muito complexo que requer muito cuidado e conhecimento [10].

Irradiação não contamina mas contaminação irradia.

Importante: a irradiação por fontes de césio-137, cobalto-60 e similares não torna os objetos ou o corpo humano radioativos entretanto, deve-se evitar certos tipos de radiação (principalmente feixes de nêutrons pois eles são capazes de tornar núcleos estáveis em instáveis).

6.4 – Proteção Radiológica

Apesar dos esforços de alguns órgãos governamentais em difundir conhecimentos voltados para as atividades de Proteção Radiológica (destaca-se aí o papel desempenhado, pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN, através do Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD) é ainda, de pouco domínio, mesmo entre aqueles que trabalham na área, o conhecimento a respeito dos efeitos maléficos produzidos por exposições que ultrapassam os limites permitidos.

Durante toda a vida, os seres humanos estão expostos diariamente aos efeitos das radiações ionizantes. Estas radiações podem ser de origem natural ou artificial. As fontes naturais representam cerca de 70% da exposição, sendo o restante, devido a fontes artificiais.

A Figura 19 exemplifica esta distribuição. Quanto à proteção radiológica, pouco podemos fazer para reduzir os efeitos das radiações de origem natural. No entanto, no que diz respeito às fontes artificiais, todo o esforço deve ser direcionado a fim de controlar seus efeitos nocivos. É neste aspecto, que a proteção radiológica pode ter um papel importante [11].

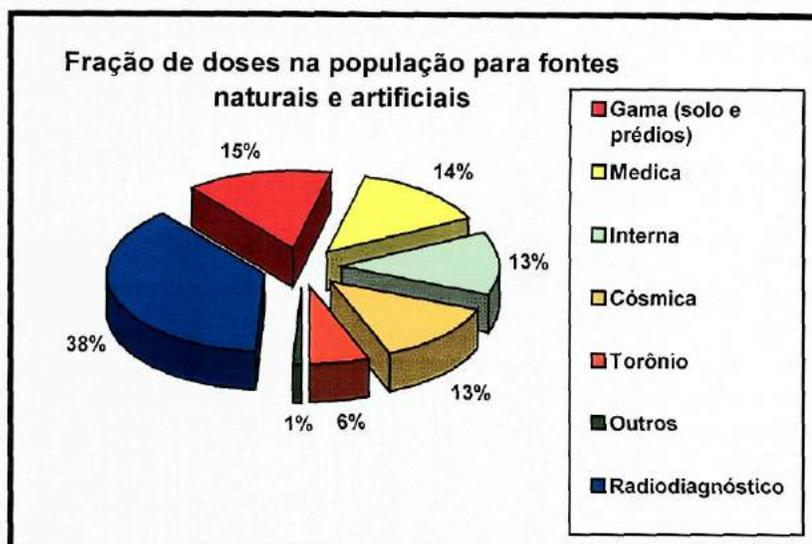


Figura 19: Fração de Doses para Fontes Naturais e Artificiais.

Na figura 20 se exemplifica as principais fontes das radiações de origem artificial.



Figura 20: Fração de Doses para Fontes Artificiais.

Pode-se observar que a maior contribuição deve-se às irradiações médicas e, dentro desta categoria, o radiodiagnóstico é o que detém a maior percentagem. Devido a esta constatação, todo esforço deve ser direcionado no sentido de controlar e reduzir estes valores, o que pode ser atingido através da aplicação efetiva dos preceitos de proteção radiológica.

No processo de interação da radiação com a matéria ocorre transferência de energia, que pode provocar ionização e excitação dos átomos e moléculas provocando modificação (ao menos temporária) na estrutura das moléculas. O dano mais importante é o que ocorre no DNA. Os efeitos físico-químicos acontecem instantaneamente, entre 10^{-13} e 10^{-10} segundos e nada podemos fazer para controlá-los.

Os efeitos biológicos acontecem em intervalos de tempo que vão de minutos a anos. Consistem na resposta natural do organismo a um agente agressor e não constituem necessariamente, em doença. Podemos citar como exemplo a redução de leucócitos.

Os efeitos orgânicos são as doenças. Representam a incapacidade de recuperação do organismo devido à frequência ou quantidade dos efeitos biológicos. Podemos citar como exemplos a catarata, o câncer, a leucemia.

O objetivo primário da proteção radiológica é fornecer um padrão apropriado de proteção para o homem, sem limitar os benefícios criados pela aplicação das radiações ionizantes. A proteção radiológica baseia-se em princípios fundamentais e que devem ser sempre observados.

O Sistema de Proteção Radiológica consiste em evitar os efeitos determinísticos (aqueles efeitos que levam a morte celular), uma vez que existe um limiar de dose, manter as doses abaixo do limiar relevante e prevenir os efeitos estocásticos (aqueles que causam alteração aleatória no DNA de uma célula, levando a transformação celular) fazendo uso de todos os recursos disponíveis de proteção radiológica.

Para a proteção radiológica de exposições externas considera-se:

i) A distância: Quanto mais longe da fonte, melhor;

ii) O tempo: Quanto menos tempo perto da fonte, melhor; e

iii) A blindagem: Quanto mais eficiente for a blindagem, melhor.

Existem diversos tipos de vestimentas (exemplo abaixo) destinadas a proteger as pessoas contra os efeitos das radiações ionizantes. Dentre as mais usadas, encontram-se os aventais de chumbo (longos ou curtos), os protetores de tireóide e de gônadas, os óculos plumbíferos, as luvas e as mangas protetoras. Estas vestimentas possuem especificações e equivalência em chumbo que devem ser adequadas ao tipo de radiação à qual se vai estar exposto. Além disso, pode-se também fazer uso de anteparos móveis de chumbo (biombos de chumbo) [11].

Sempre que possível, deve-se utilizar as vestimentas de proteção individual, como os mostrados na figura 21, tanto no *staff* médico, quanto nos acompanhantes quando estes são solicitados a conter ou confortar um paciente. Devem também ser usadas pelos próprios

pacientes a fim de evitar exposições desnecessárias de regiões do corpo que não estão sendo radiografadas.



Figura 21: Aventais de chumbo e protetores de tireóide.

6.5 – A Imagem que Alerta Perigo

O símbolo da radioatividade identifica, também, um tipo de energia, criada a partir da Segunda Guerra Mundial e que hoje representa 19% das fontes energéticas do mundo. Trata-se da energia nuclear, cuja matéria-prima utilizada na geração desta energia é o urânio.



Figura 22: Símbolo internacional da presença de radiação ionizante.

Este símbolo internacional, mostrado na figura 22, deve ser respeitado, e não temido. Trata-se da indicação da presença de radiação ionizante acima dos valores encontrados no meio ambiente, uma vez que a radiação está presente em qualquer lugar do planeta. Quando nos depararmos em um local onde este símbolo esteja presente, devemos entender que ali existe determinados materiais que podem emitir radiação ionizante. É na verdade um sinal de alerta que deve ser conhecido por todos os cidadãos.

6.6 – Conseqüências do Descuido

A interação das radiações ionizantes com a matéria é um processo que se passa em nível atômico. Ao atravessarem um material, estas radiações transferem energia para as partículas que forem encontradas em sua trajetória. A interação das radiações ionizantes com a matéria consiste na transferência de energia da radiação para o meio irradiado.

A molécula de água é a mais abundante em um organismo biológico. A água participa praticamente de todas as reações metabólicas em um organismo. Na espécie humana, são cerca de 2×10^{25} moléculas de água por quilograma, o que reflete a composição química da célula e permite afirmar que, em caso de exposição às radiações, as moléculas atingidas em maior número serão moléculas de água. Moléculas de água irradiadas sofrem radiólise. Em seguida à ionização da água segue-se um rearranjo eletrônico e a possibilidade de produção de radicais livres.

Radicais livres são entidades químicas, altamente reativas em decorrência da presença de átomos cuja última camada não apresenta o número de elétrons que conferiria estabilidade à estrutura.

Acontece que a exposição de um ser humano a uma alta dose de radiação pode dar origem a inúmeros efeitos imediatos. Vejamos alguns exemplos listados abaixo:

- No cérebro, os danos podem causar delírio, convulsões e morte;
- Nos olhos, os danos podem causar catarata;
- Na boca, as lesões causadas podem incluir úlceras bucais;
- O estômago e o intestino quando lesados, provocam náuseas e vômitos e infecções intestinais podem levar à morte da pessoa;
- Estando uma mulher grávida, os danos à criança (o feto) podem incluir retardo mental, particularmente se a exposição à radiação ocorrer no início da gravidez;
- Nos ovários e testículos, os danos causados podem provocar esterilidade ou afetam os filhos que o indivíduo possa vir a ter;
- Lesões na medula óssea podem conduzir a hemorragias ou comprometer o sistema imunológico; e
- Nos vasos sanguíneos, a ocorrência de rupturas leva a formação de hematomas.

A figura 23 mostra uma lesão da pele, sugestivo a uma queimadura de segundo grau, numa área aproximada de 12 cm x 10 cm, após 6/8 semanas da angiografia/angioplastia. A lesão foi relatada como o surgimento de uma “pele vermelha” após um mês dos procedimentos e descamação uma semana depois.



Figura 23

Figura 24

Figura 25

Figura 26

A figura 24 mostra uma falsa recuperação do tecido, com exceção da área central, após aproximadamente dezesseis semanas dos procedimentos. A necrose do tecido continuou nos meses que se seguiram. A figura 25 mostra a evolução da necrose, após aproximadamente 21 semanas dos procedimentos. A figura 26 é um close da lesão. O paciente teve de se submeter a uma cirurgia plástica reparadora.

As queimaduras (radiodermites) mostradas nas figuras acima representam o perigo que se tem em se utilizar equipamentos mal calibrados, fora das normas, tempo de exposição longo e claro, deve-se levar em conta também a sensibilidade do paciente à radiação. Como esta sensibilidade é difícil de ser mensurada todo e qualquer cuidado é obrigatório. Apesar de todos os cuidados, fatos, como o relatado, podem ocorrer e o médico tem que ter ciência desse risco.

No controle à exposição, a monitorização é o processo que tem como objetivo garantir a menor exposição possível aos trabalhadores e garantir que os limites de dose não sejam superados. Dentre os diversos tipos de Monitorização, nós temos:

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

- A monitorização da radiação externa;

- A monitorização da contaminação interna; e

- A monitoração de área, que tem por objetivo a avaliação das condições de trabalho e verificar se há presença radioativa. Os resultados das medidas efetuadas com os monitores da área devem ser comparados com os limites primários ou derivados, a fim de se tomar ações para garantir a proteção necessária.

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

Na figura 27, ilustrada abaixo, podemos verificar dois tipos de dosímetros além de vestes especiais para profissionais que trabalham em locais onde a radiação ionizante está presente.

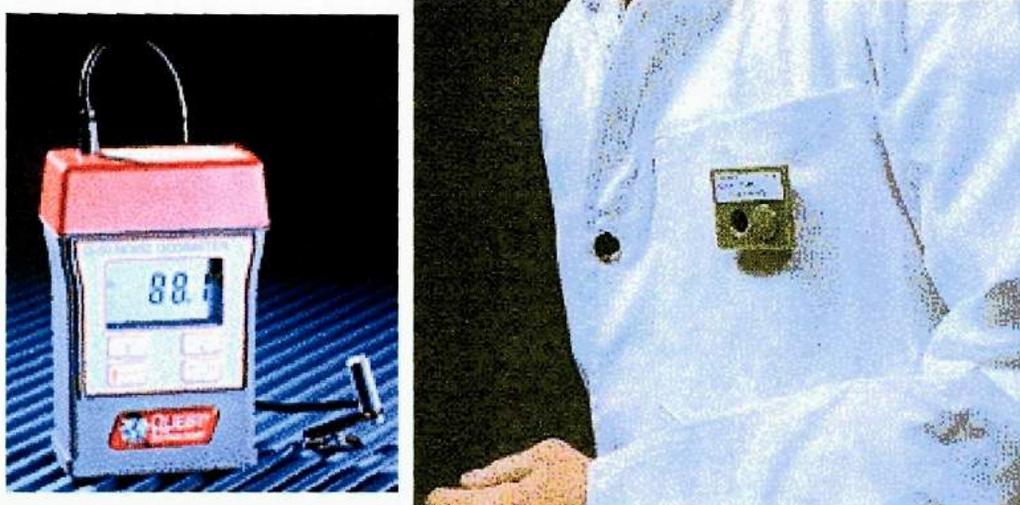


Figura 27: Diferentes tipos de dosímetros utilizados por profissionais que trabalham com radiações ionizantes.

6.7 – A Física Médica

A Física Médica é o ramo da Física que compreende a aplicação dos conceitos, leis, modelos, agentes e métodos da Física para a prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças, desempenhando uma importante função na assistência médica, na pesquisa biomédica e na otimização da proteção radiológica [12].

Atualmente a Física Médica aplica os fundamentos físicos de múltiplas técnicas terapêuticas, proporciona a base científica para a compreensão e desenvolvimento das modernas tecnologias que têm revolucionado o diagnóstico médico e estabelece os critérios para a correta utilização dos agentes físicos empregados em Medicina.

Finalmente estabelece, em colaboração com a Bioengenharia, as bases necessárias para a medida das variáveis biomédicas e aporta, junto com a biofísica, os fundamentos necessários para o desenvolvimento de modelos que explicam o funcionamento do corpo humano.

O desenvolvimento mais importante da Física Médica, tal como a entendemos atualmente, tem lugar a partir do descobrimento dos raios X e da radioatividade, dado seu impacto decisivo na moderna diagnose e terapêutica médica. Estes descobrimentos marcam

um hiato histórico na aplicação dos agentes físicos em Medicina, ao proporcionar métodos revolucionários de diagnóstico e tratamento de doenças. Em coerência com esta realidade se desenvolveu a necessidade de incorporar profissionais da Física nos grandes hospitais e clínicas em todo o mundo.

A Física Médica, portanto, é desenvolvida principalmente nas áreas de Radiologia Diagnóstica e Intervencionista, Medicina Nuclear, Radioterapia, Radiocirurgia, Proteção Radiológica, Metrologia das Radiações Ionizantes, Biomagnetismo e Radiobiologia Clínica e Epidemiológica. Os profissionais de Física Médica são indispensáveis na utilização de tecnologias de ponta como aceleradores lineares clínicos, tomógrafos gama, sistema de braquiterapia de alta taxa de dose, tomógrafos de ressonância magnética, assim como na garantia da qualidade dos serviços de saúde prestados à sociedade.

Com a rápida evolução da Medicina, o físico é cada vez mais atuante em áreas que envolvem a radiação ionizante, o laser e campos eletromagnéticos. Em áreas como a da Medicina Nuclear e Radiodiagnóstico, o físico atua como pesquisador e no controle de qualidade dos diversos equipamentos. Já no âmbito da Radioterapia, além da pesquisa e controle de qualidade, o Físico Médico é o profissional responsável pela dosimetria clínica (cálculos que envolvam o paciente) e pela radioproteção dos funcionários e do público. Hoje, a Comissão Nacional de Energia Nuclear e a Vigilância Sanitária exigem a figura de um Físico Médico especialista para estes estabelecimentos médicos.

Tomemos como exemplo as atribuições do especialista em Radioterapia. A Física da Radioterapia é a área da Física Médica relacionada ao uso da radiação ionizante no tratamento das neoplasias malignas. As técnicas associadas a esta área utilizam aparelhos de raios X de ortovoltagem, unidades de cobalto-60 e aceleradores lineares, fontes de radiação constituídas de isótopos radioativos como césio-137 e irídio-192, além de outros [13]. Dentre as atividades de competência dos físicos que atuam em Radioterapia, podemos destacar as seguintes:

- Calibrar feixes terapêuticos em termos de dose absorvida;
- Participar direta e ativamente na elaboração dos tratamentos radioterápicos, tanto no cálculo da dose como na garantia do controle de qualidade desse tratamento;
- Supervisionar o funcionamento dos equipamentos utilizados nessa modalidade de tratamento e os trabalhos de manutenção dos equipamentos prestados por terceiros;
- Conhecer aplicações clínicas básicas utilizadas para diagnóstico do câncer: raio X diagnóstico, tomografia computadorizada, mamografia, etc.;
- Estabelecer instruções para condutas em situações de emergência ou em caso de acidente radiológico;

- Ser o supervisor de proteção radiológica do serviço de radioterapia;
- Organizar e apoiar o planejamento de programas de treinamento e formação de recursos humanos na área de física de radioterapia, bem como participar de programas de residência ou especialização médicas, e de formação de técnicos especializados; e
- Formular, organizar, participar, gerenciar, procurar apoio financeiro e outras atividades relacionadas a desenvolvimento de projetos de pesquisa na área.

7.0 – O Destino do Lixo Radioativo

7.1 – Introdução

Os materiais radioativos produzidos em Instalações Nucleares (Reatores Nucleares, Usinas de Beneficiamento de Minério de Urânio e Tório, Unidades do Ciclo do Combustível Nuclear), Laboratórios e Hospitais, nas formas sólida, líquida ou gasosa, que não têm utilidade, não podem ser simplesmente jogados fora ou no lixo por causa das radiações que emitem. Esses materiais, que não são utilizados em virtude dos riscos que apresentam, são chamados de Rejeitos Radioativos.

7.2 - Tratamento de Rejeitos Radioativos

Os rejeitos radioativos precisam ser cuidados de forma adequada para não causarem danos ao homem e ao meio ambiente, da mesma forma que qualquer resíduo convencional. Cuidar convenientemente dos rejeitos radioativos significa realizar uma série de ações que vai desde a coleta dos rejeitos no ponto onde são gerados, até seu destino final, obedecendo-se aos requisitos de proteção aos trabalhadores, aos indivíduos, ao público e ao meio ambiente [6].

Depois de tratados adequadamente, esses rejeitos podem ser liberados para o meio ambiente, se for o caso, quando o nível de radiação é igual ao do próprio meio ambiente e quando não apresentam toxidez química. Rejeitos sólidos, líquidos ou gasosos podem ser, ainda, classificados, quanto à atividade, em rejeitos de baixa, média e alta atividade. Os rejeitos de meia-vida curta são armazenados em locais apropriados (preparados), até sua atividade atingir um valor semelhante ao do meio ambiente, podendo, então, ser liberados. Esse critério de liberação leva em conta somente a atividade do rejeito. Materiais de atividade igual ao nível ambiental mas que apresentam toxidez química para o ser humano ou que são prejudiciais ao ecossistema não podem ser liberados sem um tratamento químico adequado [10].

Rejeitos sólidos de baixa atividade, como partes de maquinaria contaminadas, luvas usadas, sapatilhas e aventais contaminados, são colocados em sacos plásticos e guardados em tambores ou caixas de aço, após classificação e respectiva identificação.

Os produtos de fissão, resultantes do combustível nos reatores nucleares, sofrem tratamento especial em Usinas de Reprocessamento, onde são separados e comercializados, para uso nas diversas áreas de aplicação de radioisótopos. Os materiais radioativos restantes, que não têm justificativa técnica e/ou econômica para serem utilizados, sofrem tratamento

químico especial e são vitrificados, guardados em sistemas de contenção e armazenados em Depósitos de Rejeitos Radioativos.

Na figura 28 podemos ver como são armazenados os rejeitos radioativos de baixa e média atividades, produzidos pelas usinas de Angra I e II, no Estado do Rio de Janeiro.



Figura 28: Angra armazena hoje 6.302 tambores de lixo radioativo de baixa e média radioatividade.

7.3 – Depósitos de Rejeitos Radioativos

A função de um depósito de rejeitos radioativos é a de manter segregadas substâncias tóxicas ou agressivas por um tempo suficientemente longo, para possibilitar a sua degradação, de tal modo que o eventual retorno à biosfera não provoque um risco inaceitável para os seres vivos.

Os repositórios de rejeitos radioativos visam segregar radionuclídeos de meia-vida curta ou média por um tempo suficientemente longo, para que sua radioatividade, por decaimento espontâneo, se reduza a valores tão baixos que seu eventual retorno ao contato com os seres vivos não implique riscos significativos. Os rejeitos de Goiânia por exemplo, que só contém césio-137 diluído em solos e em outros materiais, precisarão ser mantidos no depósito definitivo por um período de 150 a 180 anos.

Para decidir sobre as características da construção de um depósito de rejeito e sobre sua localização, deve-se levar em conta que os efeitos da radiação ionizante sobre os seres vivos, cuja gravidade depende da dose absorvida, podem ser causados por irradiação à distância ou por contaminação. No caso desses depósitos, evita-se a irradiação interpondo-se uma distância adequada entre as fontes radioativas e as populações mais próximas pois, a propagação no ar dos raios gama, emitidos em todas as direções por uma fonte radioativa, é idêntica à dos raios de luz produzidos por uma lâmpada elétrica: num e noutro casos, a quantidade de raios que atinge um objeto qualquer decresce com o inverso do quadrado da distância interposta. Por

exemplo: se, a um metro de uma fonte radioativa, um indivíduo recebe uma dose de 10 rad/h (elevada e absolutamente inaceitável), a cem metros estará exposto a uma dose de apenas 0,001 rad/h, o que corresponde a menos de 1% da radiação natural anual. A um km de distância, a dose será insignificante e não mais mensurável pelos aparelhos monitores. Além da distância, outro recurso para reduzir a irradiação é o emprego de materiais densos e espessos como blindagem [14].

No caso dos rejeitos de alto nível, estes são os próprios elementos combustíveis de urânio já utilizados (“queimados”) em reatores nucleares ou os que resultam do reprocessamento desses elementos combustíveis. O reprocessamento visa recuperar o urânio não utilizado e o plutônio, que é físsil e pode ser empregado em outros reatores ou na construção de bombas atômicas. Esses rejeitos são o maior problema para o desenvolvimento da energia nuclear pois a tecnologia para sua segregação definitiva ainda não foi devidamente equacionada. No mundo inteiro, os que provêm de reprocessamento estão sendo mantidos na forma de solução ácida, em tanques subterrâneos, permanentemente refrigerados para remover o calor gerado pela elevadíssima radioatividade. Várias propostas têm surgido para a construção de um repositório que segreguem os rejeitos radioativos com segurança por períodos de centenas de milhares de anos e até de um milhão de anos no entanto, é fato que o homem não tem experiência em planejar instalações que se mantenham íntegras por tempos dessa magnitude.

7.4 - O Lixo da Descontaminação de Goiânia

A CNEN estabeleceu, em 1993, uma série de procedimentos para a construção de dois depósitos com a finalidade de abrigar, de forma segura e definitiva, os rejeitos radioativos decorrentes do acidente de Goiânia. O primeiro, denominado Contêiner de Grande Porte (CGP), foi construído em 1995, dentro dos padrões internacionais de segurança, para os rejeitos menos ativos.

O segundo depósito, visando os rejeitos de mais alta atividade, concluído em 1997, deverá ser mantido sob controle institucional da CNEN por cinquenta anos, coberto por um programa de monitoração ambiental, de forma a assegurar que não haja impacto radiológico no presente e no futuro [10].

8 – A Comissão Nacional de Energia Nuclear e a Fiscalização das Fontes Nucleares

8.1 - Introdução

A União tem o monopólio da mineração de elementos radioativos, da produção e do comércio de materiais nucleares, sendo este monopólio exercido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

A CNEN é uma autarquia federal criada em 10 de outubro de 1956 e vinculada ao Ministério de Ciência e Tecnologia. Como órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e fiscalização, estabelece normas e regulamentos em radioproteção e licença, fiscaliza e controla a atividade nuclear no Brasil. A CNEN desenvolve ainda pesquisas na utilização de técnicas nucleares em benefício da sociedade.

8.2 – A Comissão Nacional de Energia Nuclear

A missão da CNEN: "Garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear, desenvolver e disponibilizar tecnologias nucleares e correlatas, visando o bem estar da população", traduz a preocupação com a segurança e o desenvolvimento do setor, orientando sua atuação pelas expectativas da sociedade, beneficiária dos serviços e produtos [15].

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

A área de Pesquisa e Desenvolvimento investe no emprego da tecnologia nuclear em Medicina, Agricultura, Indústria e Meio Ambiente. Além da produção de radioisótopos e radiofármacos, amplamente utilizados em Medicina Nuclear, as atividades abrangem os processos e tecnologias em radiodiagnóstico e radioterapia; fontes industriais de radiação; tecnologia de reatores; estudos sobre neutrônica, operação e manutenção de reatores; desenvolvimento de novos materiais; instrumentação e controle; tecnologia de esterilização e

preservação de alimentos por meio da irradiação; ensaios citogenéticos; pesquisas de vacinas por meio da irradiação de venenos; ensaios mecânicos não destrutivos; reagentes; processos de caracterização de bacias hidrológicas e de efluentes líquidos e gasosos; e processos para análise ambiental [15].

A área de Apoio Logístico, além de assegurar a infra-estrutura necessária para as atividades de radioproteção, segurança nuclear e pesquisa e desenvolvimento, atua no treinamento e qualificação dos pesquisadores, tecnologistas, analistas e técnicos da CNEN e na disseminação de informações técnico-científicas para pesquisadores, profissionais e estudantes da área nuclear.

Para executar suas atividades, a CNEN possui quatorze unidades localizadas em nove estados brasileiros:

- Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN, em Belo Horizonte (MG);
- Centro Regional de Ciências Nucleares - CRCN, no Recife (PE);
- Distrito de Angra dos Reis (RJ);

Distrito de Caetité (BA):

- Distrito de Fortaleza (CE);
- Distrito de Goiânia (GO);
- Distrito do Planalto Central (DF);
- Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD, no Rio de Janeiro (RJ);
- Instituto de Engenharia Nuclear - IEN, no Rio de Janeiro (RJ);
- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, em São Paulo (SP);
- Laboratório de Poços de Caldas (MG);
- Escritório de Resende - ESRES, no Rio de Janeiro (RJ);
- Escritório de Porto Alegre - ESPOA (RS); e
- Sede administrativa da CNEN, no Rio de Janeiro (RJ).

8.3 – A Fiscalização das Fontes Nucleares e os Problemas de Supervisão

A atividade de licenciamento de fontes nucleares consiste em avaliações de segurança que levam em conta desde o projeto da instalação, passando por sua entrada em operação, até uma futura desativação (processo ao qual chamamos de descomissionamento).

Quando se trata de manipular materiais radioativos ou nucleares, uma série de normas elaboradas pela CNEN regulam essas atividades, referindo-se a instalações nucleares e radioativas a posse, uso e manuseio de material nuclear, transporte e tratamento de rejeitos

radioativos, proteção individual, ocupacional e ambiental contra as radiações, medidas relacionadas à radiação, e tantos outros assuntos relevantes à questão de segurança.

A CNEN exerce a fiscalização da construção e executa testes pré-operacionais. Com a fiscalização, é possível verificar se as normas de garantia de qualidade estão sendo praticadas.

Nos trabalhos relacionados à prospecção, pesquisa, lavra, industrialização e comercialização de minerais e minérios nucleares e outros de interesse para a área nuclear, a CNEN exerce atividades de fiscalização e controle, já que as atividades nucleares são monopólio da União e isso, desde cedo, tem tornado extremamente difícil a discussão sobre questões de segurança ou proteção nuclear. Ela tem ações de pesquisa e desenvolvimento e é a responsável pela área de controle além de ser a maior acionista das Indústrias Nucleares Brasileiras (INB) e da Nucleares Equipamentos Pesados (NUCLEP) [16].

O uso da tecnologia nuclear é de grande interesse para o Brasil, no entanto, não se pode, de maneira alguma, colocar em risco a segurança e a vida da população, violando direitos e não dando a devida atenção à questão de políticas governamentais seguras para o uso da energia nuclear. A Sociedade Brasileira de Física tem, freqüentemente, notificado o Governo Brasileiro sobre questões vitais para que se tenha uma solução para este problema de fiscalização e segurança no entanto, o que vemos ainda hoje é que nada mudou com relação a espinha dorsal da estrutura funcional da CNEN [2].

Para que a fiscalização realmente surta um efeito satisfatório, é necessário que o órgão responsável pela regulamentação destas atividades possua independência em relação à estrutura da CNEN pois assim, quando devidamente notificada uma irregularidade, este órgão poderá indiciar o responsável, cobrando justificativas e aplicando multas, ficando apenas a cargo da União tomar conhecimento e medidas enérgicas que requeiram uma ação de caráter federal.

Ainda no âmbito da fiscalização, faz-se necessário definir as punições para os responsáveis legais por instalações de fontes nucleares que não estiverem cumprindo as normas de segurança. Isso significa que após contactado a irregularidade, os responsáveis devem ser exemplarmente punidos por não cumprirem os procedimentos de segurança, evitando que as responsabilidades pela punição se transformem em acusações entre governos e instituições, ambos se esquivando da culpa, como vimos no acontecido caso de Goiânia com a contaminação pelo cézio-137.

Por fim, deve ser investigado como os rejeitos radioativos estão sendo gerenciados, como e onde estão sendo armazenados, quais os critérios de segurança utilizados, quem são os

responsáveis, quais os níveis de radiação emitidos, os impactos no meio ambiente e se existe alguma finalidade na reciclagem desses rejeitos.

O fato de existir uma equipe muito bem preparada para licenciar e fiscalizar o uso de fontes radioativas no país, dentro do contexto de independência de funções, conforme proposto pelo Código de Conduta da AIEA, que o Brasil aceitou, será um passo importante no que tange à segurança e seguridade do setor nuclear no país. Neste caso, o próprio desenvolvimento do setor nuclear seria beneficiado com a criação de uma agência que estivesse livre de potenciais conflitos de interesse. Um dos aspectos ligados a esses conflitos de interesse, talvez um dos mais graves, seja aquele que reside no fato de que os institutos de pesquisa da CNEN têm suas instalações licenciadas e fiscalizadas por ela própria. Com isso, a CNEN corre o risco de perder a credibilidade perante a sociedade brasileira, tornando a sua função frágil e praticamente sem sentido.

Um exemplo típico é o da construção de mais uma usina nuclear em Angra. Hoje, o Brasil tem duas usinas nucleares, Angra I e Angra II que juntas produzem 1,87 mil megawatts e além disso, o país está construindo uma terceira usina com grande preguiça há mais de quatorze anos quando o prazo normal é de apenas quatro. A usina está toda comprada e já foi até paga, no entanto, o Governo gasta cinquenta milhões de dólares por ano para conservar e atualizar os equipamentos da usina, que estão estocados [17].

Em vista disso, é possível afirmar que a estrutura atual da CNEN não funciona de forma adequada nem para fomentar o uso da energia nuclear no país, nem para atuar nos processos e procedimentos de fiscalização e licenciamento das atividades nucleares no Brasil. A divisão da CNEN num órgão de fomento à energia nuclear e outro para licenciar e fiscalizar as atividades nucleares no Brasil já se tornou tardia. Ambos os aspectos das suas funções conflitantes da CNEN atual seriam beneficiadas com a separação dessas funções em órgãos independentes um do outro.

9 – Sugestão Para Uso desta Monografia

9.1 – Introdução

Esta monografia oferece ao professor a possibilidade de trabalhar os assuntos por sessões, facilitando a assimilação das etapas do conhecimento e a requerida análise dos fatos abordados. Exemplo típico foi termos introduzido no item 3 uma breve história sobre a Física Moderna e a estrutura atômica para que pudéssemos, no item 4, abordar a descoberta da radioatividade e os tipos de radiações existentes. Imaginamos que o professor possa fazer um elo de ligação entres esses dois tópicos como sendo uma seqüência de fatos científicos, o que deverá aguçar a curiosidade dos alunos em sala de aula gerando discussões que, no âmbito do aprendizado, podem ser muito interessantes e atraentes.

Estes dois capítulos introdutórios são necessários pois neles constam uma bela parte da história da física no campo de uma das mais importantes descobertas do Século XX, cujos efeitos tecnológicos de suas aplicações continuam nos surpreendendo até os dias atuais. Na prática, servirão para que possamos introduzir os demais conceitos que versam sobre o vasto campo das aplicações da radioatividade, os perigos a que as pessoas estão submetidas quando ocorrem acidentes radioativos, as formas de proteção radiológica, que destino deve ser dado ao lixo radioativo e por fim, numa campanha de cidadania, informar que todas as ações que envolvam materiais radioativos e tecnologia nuclear são supervisionadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear, uma instituição brasileira de cunho federal e que lá trabalham pessoas preparadas para atender a população em caso de dúvidas ou mesmo acidentes com materiais desse tipo.

Num primeiro momento, tomamos a liberdade de sugerir um plano de aula nos moldes daquele elaborado pela Prof^a. Susana Lehrer de Souza Barros e Prof. João José Fernandes, pesquisadores do Instituto de Física da UFRJ. Este modelo visa o desenvolvimento de técnicas de avaliação qualitativa em sala de aula, propondo uma quantidade mínima de número de aulas de cinquenta minutos cada uma, onde se estabelecem os conteúdos, as estratégias, os materiais e recursos didáticos a serem utilizados e atividades a serem desenvolvidas junto com os alunos. Trata-se de um modelo de plano de aula muito interessante pois propõe por meio de um questionário uma avaliação diagnóstica dos alunos da classe em questão. Segue abaixo um exemplo de questionário, cujo professor tem a plena liberdade de alterar de acordo com suas necessidades e criar o seu próprio questionário levando em consideração os resultados da avaliação diagnóstica da sua turma.

9.2 – Proposta de um Plano de Aula sobre Radioatividade e Proteção Radiológica

Proposta de um plano de aula sobre Radioatividade e Proteção Radiológica

Uma proposta de aula deve ser elaborada a fim de servir como **um projeto do professor**, sendo diretamente associada àquilo que ele pensa e conhece, podendo ou não estar explícito a ele mesmo [18]. Esse projeto deverá guiar as ações e decisões sobre:

- A seleção dos conteúdos;
- Os objetivos de ensino;
- As atividades que os estudantes desenvolvem;
- As estratégias de ensino-aprendizagem;
- Os recursos didáticos utilizados;
- O acompanhamento da aprendizagem; e
- Os procedimentos de avaliação.

No sistema de ensino existem diversas maneiras de avaliar o que o aluno conhece ou pensa sobre um determinado assunto e quais os fenômenos físicos que ele consegue relacionar com o tópico a ser trabalhado. São conhecimentos internalizados por meio do senso comum ou mesmo provenientes de simples leituras, conversas com amigos, noticiários de televisão, jornais e internet. Essas informações deverão permitir que o professor organize o seu plano de aula de forma a torná-lo mais eficiente.

Nesse sentido, uma das maneiras mais eficientes de conseguir obter informações sobre os conhecimentos que os alunos trazem consigo, pode ser através da aplicação de um questionário, como o exemplo que segue mostrado abaixo:

9.3 – Proposta de Questionário a Ser Aplicado

PROPOSTA TESTE: Questionário desenvolvido para ser respondido pelos alunos antes do planejamento das aulas para o estudo da Radioatividade e Proteção Radiológica.

“Nada existe, além dos átomos e do vazio...” (Demócrito, Sec. V a.C.)

1) A primeira teoria atômica teve início na Grécia, ainda no Século V a.C. com Leucipo, de Mileto e Demócrito, de Abdera. Estes foram os primeiros a apresentar hipóteses sobre os excenciais componentes da matéria. Segundo eles, o Universo seria formado de átomos e vácuo e os primeiros seriam infinitos, não podendo ser cortados ou divididos, sendo sólidos mas de tamanho tão pequeno que não poderiam sequer serem vistos. Hoje, mais de 25 séculos depois, tem-se uma nova idéia a respeito do átomo, sendo composto por outras unidades e totalmente divisível.

Com base na leitura do parágrafo acima, faça uma breve descrição da idéia que você possui a respeito do átomo e de suas partes. Se possível, imagine o seu interior e faça ilustrações.

“Raios X podem ser produzidos quando elétrons são acelerados em direção a um alvo metálico, diferentemente da radiação gama, que está diretamente relacionada a uma saída encontrada pelo átomo para manter sua estabilidade nuclear...”

2) Todos nós, ao menos uma vez, já precisamos fazer uma radiografia do tórax ou de outra parte do nosso corpo. Algumas pessoas necessitam realizar tratamentos radioterápicos que envolvem raios gama, como por exemplo no tratamento de tumores.

Com base nos seus conhecimentos populares, escreva uma das diferenças entre esses dois tipos de radiação.

“Ela era feia. Mas quando apaguei as luzes do ferro-velho e notei que ela brilhava, me apaixonei. Nunca imaginei que aquela pedra maravilhosa fosse fazer isso comigo.” (Devair Alves Ferreira, dono do ferro-velho em Goiânia)

“Eu nem sabia que existia essa tal de radiação. Eu queria que alguém me explicasse como é que um médico, uma pessoa estudada, um fiscal sério, deixa uma peça tão perigosa numa casa completamente abandonada”. (Maria Abadia Motta, mãe de Devair)

3) Nos dois trechos acima, explicitamos a tamanha indignação por duas pessoas atingidas diretamente pela radiação nuclear do átomo de césio-137, no acidente de Goiânia. Este fato reflete, de forma amarga, as conseqüências da falta de informação a qual todos os cidadãos têm direito. Abaixo, listamos definições de cinco tipos de radiação, ambas proveniente do uso do átomo e também as radiações para que possam ser associadas a estas definições.

Leia atentamente e associe as definições dadas nas letras A, B, C, D e E com suas respectivas radiações.

A) É o tipo de radiação cuja interação com os átomos e as moléculas do meio, arranca alguns de seus elétrons orbitais.

B) São partículas capazes penetrar vários milímetros na pele, mas não penetram uma distância suficiente para alcançar os órgãos mais internos do corpo humano no entanto, apresentam um risco maior quando emitidas por materiais radioativos depositados internamente ao corpo ou quando irradiam diretamente a pele e o cristalino dos olhos.

C) é a radiação formada por ondas eletromagnéticas emitidas por núcleos instáveis logo em seguida à emissão de uma partícula. São emitidas pelos núcleos atômicos ou pela aniquilação dos pósitrons. São extremamente penetrantes, sendo detida somente por uma parede de concreto ou metal.

D) são partículas capazes de percorrer apenas alguns centímetros no ar ou algumas dezenas ou centenas de milímetros nos sólidos, antes de atingirem o repouso por colisões.

E) São radiações penetrantes irradiados pelos átomos quando ionizados. São emitidos quando elétrons acelerados por alta voltagem se lançam contra uma chapa de tungstênio e sofrem frenagem, perdendo energia.

- () Radiação Gama
- () Radiação Alfa
- () Raio X
- () Radiação Ionizante
- () Radiação Beta

4) Frequentemente nos deparamos com símbolos e sinais no nosso cotidiano. O mais comum é o sinal de trânsito que, apesar de nada ter escrito, basta que olhemos para ele e saibamos que as suas cores indicam determinadas situações que, se não respeitadas devidamente poderá causar graves acidentes. Ilustrado abaixo tem um símbolo de caráter internacional que aparece em alguns materiais, em portas de alguns compartimentos, em alguns equipamentos, inclusive em salas de médicos, dentistas, cientistas, etc.

Imagine que de repente você se deparou com uma figura dessa fixada na porta do seu médico e que ao entrar em sua sala, havia equipamentos com esse selo também afixado. O que você deve entender por isso? Qual é o significado dessa imagem?



“Os onze pacientes estavam no fundo, todos sentados, juntos. Alguns apresentavam lesões graves e sentiam dor. Entre eles, havia duas crianças. Mostravam-se visivelmente atemorizados, angustiados, e sofriam”. (Alexandre Rodrigues de Oliveira, Divisão de Higiene das Radiações Ionizantes).

5) Um acidente radioativo, hoje, pode ocorrer em qualquer lugar do planeta. A informação é muito importante para que possamos conhecer a natureza da radioatividade, a sua presença e as indicações de material radioativo, tomando por base a figura do item anterior fixadas nas embalagens desses materiais. No mundo, já tivemos alguns acidentes radioativos com vítimas fatais. Os mais notáveis são os que ocorreram na usina nuclear de Chernobyl, em 1986 na cidade de Pripiat e no Brasil em Goiânia, em 1987, o acidente com o Césio-137.

Faça um esforço e tente, por meio de suas palavras e com base no conhecimento popular, descrever o que pode ocorrer num acidente radioativo. Pense nos danos causados nas pessoas, no meio ambiente, na economia da cidade, etc.

“Irradiação não contamina mas contaminação irradia”.

“Naqueles quinze dias aconteceu de tudo. Pessoas esfregaram a pedra no corpo, jogaram pedaços na privada. Houve quem a transportasse em ônibus e quase

lançaram a "coisa ruim" no rio Capim Puba, que cruza Goiânia. A menina Leide das Neves Ferreira, de seis anos, filha de um sucateiro, fez pior. Comeu um ovo cozido com as mãozinhas reluzentes de Césio-137. Tornou-se, ela mesma, uma fonte radioativa. Morta dias depois, Leide foi enterrada num caixão de chumbo que pesava mais de 700 kg. O drama mal começava...".

6) Podemos perceber no trecho acima duas especificações bem diferentes uma da outra. A primeira trata-se da irradiação, isto é, a pessoa sendo irradiada por uma fonte radioativa. A segunda, trata-se de uma menina que ingeriu alimento, tornando-se ela mesma uma fonte radioativa. Ser irradiado não significa estar contaminado! Com base nos seus conhecimentos adquiridos, indique algumas diferenças entre ser irradiado e ser contaminado por uma fonte radioativa.

7) Após voltar do mercado, na hora de guardar as compras, você percebe que dois dos seus produtos alimentícios contêm o símbolo abaixo em suas embalagens. Trata-se de um símbolo estranho ao seu cotidiano, pouco divulgado. Qual é a primeira idéia que você teria? Por quê? O que você acha que significa este símbolo? Ele oferece algum risco a sua saúde?



8) Toda vez que nos submetemos a realização de uma radiografia (Raio X), o técnico de radiologia "se esconde" atrás de um biombo de chumbo para poder se proteger da radiação emitida. Sabemos há muito tempo que as radiações ionizantes podem causar sérios danos biológicos aos seres humanos. Um dos efeitos mais impressionantes (pelo fato de chocar as pessoas) é a ocorrência de radiodermites (queimaduras na pele). Cite outros exemplos que você conheça sobre os danos causados nos seres humanos pela radiação ionizante. Entenda como dano todas as conseqüências danosas causadas aos seres humanos pela radioatividade.

9) Hoje são várias as aplicações da radioatividade. A mais conhecida é a geração de energia elétrica em usinas termonucleares no entanto, o seu uso não se restringe somente a este campo. Identifique outras áreas onde o uso pacífico da radioatividade e fontes radioativas são utilizadas e exploradas com objetivo de atender às necessidades da humanidade?

10) Abaixo estão listadas quatro organizações ligadas ao uso da radioatividade e das radiações ionizantes. Indique as suas principais finalidades e/ou atividades desenvolvidas por eles.

- i) Instituto de Física Médica da UFRJ;
- ii) Agência Internacional de Energia Atômica – AIEA;
- iii) Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN;
- iv) Instituto de Radioproteção e Dosimetria – IRD.

Avaliação Diagnóstica sobre Radioatividade e Proteção Radiológica

Idade: _____

Sexo: () Masculino () Feminino

Grau de Instrução: _____

Ramo de Atividade: _____

<i>1)</i>	<i>Figura</i>

<i>2)</i>

<i>3)</i>
() Radiação Gama
() Radiação Alfa
() Raio X
() Radiação Ionizante
() Radiação Beta

<i>4)</i>

<i>5)</i>

9.4 – Sugestão de Plano de Aula

Apresentação da Radioatividade e Algumas Formas de Proteção Radiológica

Aulas (50 min)	Conteúdos – Estratégias – Materiais e Recursos – Atividades	Comentários/Objetivos
1	Atividade Individual: Aplicação de um questionário contendo perguntas simples, de conteúdo abrangente a respeito da radioatividade, suas aplicações, acidentes e cuidados que devemos ter quando nos depararmos com o sinal de alerta de presença de radiação ionizante.	Analisar as respostas exibidas pelos alunos e trabalhar com elas a posteriori. Servirão para fazer uma avaliação diagnóstica da turma além de ser a base para a elaboração do plano de aula sobre o assunto em questão.
2	Discutir com os alunos o resultado do questionário e dar uma primeira aula sobre a história da Física Moderna. Pedir aos alunos que procurem na mídia reportagens que fale sobre radioatividade e suas aplicações, acidentes radioativos, formas de proteção radiológica, importância das usinas nucleares e órgãos do governo relacionados com desenvolvimento de tecnologia nuclear e segurança.	Levar os alunos a terem o primeiro contato com o assunto a ser desenvolvido pelo professor. A partir das idéias trazidas e das questões levantadas pelos alunos, dar início a uma discussão em sala, favorecendo a percepção das suas maiores dúvidas e indicando os pontos mais frágeis a serem trabalhados pelo professor de agora em diante.
3	Relatar a descoberta da radioatividade por Becquerel e Curie, o início das aplicações tecnológicas, explicar o fenômeno da radioatividade como sendo resultado de uma instabilidade nuclear.	Fazer os alunos entenderem a beleza do desenvolvimento da ciência. Definir o que é radiação e explicar a diferença entre os raios X e a radiação nuclear.
4	Aula expositiva: Apresentação do átomo e suas partes. Breve "abertura" do núcleo atômico (prótons e nêutrons). Definições de onda eletromagnética e das radiações alfa, beta e gama, destacando suas principais propriedades.	As definições serão trabalhadas com base nos conhecimentos trazidos pelos alunos e nas informações conseguidas por eles na leitura das reportagens consultadas na mídia. Alertar para o fato de que estaremos trabalhando com entidades que sequer somos capazes de ver, sentir, cheirar ou tocar.
5	Aula expositiva utilizando material informativo preparado pelo professor, além do uso do quadro e giz. Mostrar o símbolo internacional da presença de radiação ionizante. Chamar atenção para o perigo de se expor à radiação nuclear e lembrar os acidentes de Chernobyl e de Goiânia.	Dar ênfase ao perigo da radiação ionizante. Ser capaz de identificar em hospitais ou empresas o símbolo internacional da presença de radiação. Estabelecer a diferença entre ser irradiado e ser contaminado pela radiação. Contar o drama das famílias e das cidades atingidas por acidentes radioativos.

6	<p>Discussão das aplicações da radioatividade e demonstração de imagens que versam sobre o assunto, bem como dos danos causados pelo excesso da exposição a radiação ionizante e destino do lixo radioativo.</p>	<p>Expor maneiras de como a radioatividade pode ser aplicada. Falar por meio de imagens. Levar os alunos, a pensarem de forma crítica nos prós e nos contras quando do uso da radiação ionizante, popularizando de uma forma geral os males e os benefícios da exploração dessa forma de energia.</p>
7	<p>Proteção radiológica e apresentação dos Órgãos Governamentais responsáveis pelo desenvolvimento da tecnologia nuclear.</p>	<p>Conhecer o mínimo necessário para que possam se proteger em caso de acidente. Indicar sites da CNEN, IRD, IEN, IPEN, Eletrobrás, Eletronuclear, Universidades, etc., onde eles poderão manter-se informados.</p>
8	<p>Sessão de perguntas com objetivo de fazer uma primeira avaliação dos alunos após a exposição da aula. Motivar os alunos de forma a participarem com as idéias fixadas após as informações passadas pelo professor.</p>	<p>O aluno deve correlacionar o conteúdo escolar com aspectos sociais e de convivência e o papel das novas tecnologias na área de saúde, indústria, segurança e geração de energia. Solicitar que os alunos se posicionem utilizando argumentos diante da temática como o problema da falta de informação e conhecimento.</p>
9	<p>Avaliação escrita Avaliação por desempenho durante as aulas</p>	<p>Verificar como foram assimiladas as idéias que os alunos tinham anteriormente. Analisar se tanto as estratégias utilizadas quanto os recursos utilizados contribuíram para a melhor compreensão dos conceitos físicos associados.</p>

9.5 – Outras Sugestões para o uso desta Monografia

No item 9.4 sugerimos o uso desta monografia de uma maneira formal e propedêutica, com a única finalidade de levar o conhecimento aos alunos por meio da discussão de seus tópicos e ao final, realizar uma avaliação para verificar se, de acordo com o resultado da avaliação final o objetivo do professor foi atingido.

Por hora, queremos agora propor outras maneiras de usá-la, abrangendo o número de pessoas, a forma como apresentar os seus tópicos, lançando mão da utilização de outros recursos inclusive saindo do meio escolar e acadêmico para o meio social, o que pode muito bem ser realizado uma vez que esta monografia abrange um assunto que deve ser do conhecimento de todos e não restrito a um pequeno grupo de pessoas.

As sugestões abaixo indicam apenas o caráter abrangente dos conteúdos desta monografia, lembrando que o desempenho dependerá sempre da motivação do professor e da força de vontade dos alunos, das pessoas ou do grupo em questão.

i) Ciclo de Palestras

Se o objetivo do professor é atingir um grupo de pessoas sem que ao final seja necessário aplicar um prova de avaliação, por exemplo imaginemos um grupo de pais de alunos e outros professores, a exploração dessa monografia pode ser dada em forma de palestras utilizando-se apenas de *PowerPoint* e *DataShow*, exibindo as informações e imagens em uma tela de projeção. As informações podem ser passadas em quatro sábados, em horários regulares, sempre com apresentação de *slides* seguido de um grande debate informativo ao final de cada aula.

ii) Curso de Extensão

Se for vontade do professor e este achar que se faz necessário levar este tipo de informação aos alunos e à comunidade, o uso desta monografia pode ser explorado sob forma de um Curso de Extensão, o que vai requerer uma maior atenção do professor fazendo com que este seja um grande mediador do conhecimento, falando em linguagem clara e de fácil acesso às pessoas presentes. Uma vez que se trata de um curso de extensão, é necessário aplicar uma avaliação de caráter informativo (cuja finalidade é apenas de diagnosticar o que foi realmente assimilado pelos participantes). Esta opção é muito interessante pois abre as portas da Escola para a Sociedade, favorecendo a interação entre pais, alunos e professores e na verdade quem acaba ganhando é a própria Escola que cumpre sua função social e a Sociedade que se apropria do conhecimento.

iii) Divisão de grupos para realização de trabalhos

Por fim, ainda pensando em sala de aula, o professor poderá sugerir aos alunos que, divididos em grupos escolham um tópico desta monografia e realizem um trabalho acadêmico. Neste caso, o importante é que o aluno se comprometa a ler todos os textos, tome nota de suas dúvidas, pesquise, procure o professor em sala para esclarecimentos, pesquise cada qual com o seu grupo as informações para o seu trabalho e realize uma grande discussão entre grupos com perguntas e respostas. Além de trazer uma descontração para a sala de aula, a motivação pela ânsia de responder as questões colocadas por outros colegas deverá despertar grande atenção e interesse pelo assunto.

Estes três subitens expostos acima quer apenas chamar atenção para o grau de liberdade de ação que o professor tem estando de posse deste material. Ele deixa de ser apenas o mediador do conhecimento passando a ser, também, o protagonista que vai favorecer a circulação da informação entre os alunos e seus familiares e amigos.

A radioatividade há muito que é parte do nosso dia-a-dia e não podemos, de forma alguma, dar as costas para esse assunto pois a ignorância nos deixam cegos mas a informação abre o horizonte a nossa frente, dando oportunidades para se construir uma vida nova, com mais saúde, conforto e qualidade, sempre valorizando o ser-humano.

Como acionar a CNEN?

Comissão Nacional de Energia Nuclear

Rua General Severiano, nº 90

Botafogo – Rio de Janeiro – RJ

CEP.: 22.290.901

Tel.: (21) 2546.2304

Acionando a CNEN pela internet.

<http://www.cnem.gov.br>

10 – Conclusão

Após a leitura desta monografia, podemos perceber que os aspectos que giram em torno da radioatividade e seu uso requer uma atenção especial e cuidadosa por parte dos seus usuários. O campo de aplicação é tão vasto que fascina a todos, inclusive aos que são leigos no assunto. Se hoje conhecemos com certa segurança aspectos da radioatividade, devemos lembrar que pessoas morreram no passado se dedicando ao seu estudo.

A radioatividade é hoje de fundamental importância para a sociedade humana e questões relacionadas ao seu uso pacífico não devem ser deixadas de lado; no entanto, o seu uso de forma maliciosa deve ser sempre vetado pois já vimos o que pode ocorrer se alguém lança uma “bomba suja” num centro urbano (é um novo caso como o de Goiânia). Avançamos muito na questão da segurança com o surgimento da proteção radiológica, estando o Rio de Janeiro muito à frente de outros estados no que tange a estes aspectos.

A tecnologia desenvolvida com o uso das radiações ionizantes é hoje aplicada no tratamento de doenças (principalmente do câncer), na esterilização de instrumentos sensíveis ao calor, na eliminação de microorganismos em alimentos, na datação de fósseis, na geração de energia, e num futuro bem próximo será utilizada na purificação de água para populações do mundo, uma vez que a água potável está ficando escassa.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear tem desenvolvido importante missão no sentido de prever e prover o material e o uso pacífico da radiação nuclear no entanto, ainda possui questões problemáticas que podem colocar em cheque sua credibilidade por parte da sociedade, pois licencia e também fiscaliza os estabelecimentos que trabalham com fontes radioativas. Será que a própria CNEN irá se punir ao constatar uma irregularidade sua?

Por fim, a maneira mais eficiente para que a população possa discutir questões relacionadas com a radioatividade e ao seu uso pacífico é através do debate coletivo, e isso só será possível através do conhecimento. Fica, então, caracterizada a necessidade de levar aos cidadãos o conhecimento que neste trabalho está contido. O principal agente envolvido nesse processo será o educador que irá prever e prover os esclarecimentos, os cuidados que se devem ter, os procedimentos que devem ser tomados pois os institutos estão deixando de realizar em larga escala, concentrando apenas nos seus estudantes e cientistas. Se o conhecimento não sai da academia, esta deixa de cumprir o seu papel social. Precisamos ser o ponto de ignição neste processo.

Finalizando, acreditamos que esta monografia possa ser útil aos professores que lecionam Física no Ensino Médio.

11 - Glossário

Acidente Radioativo: É o tipo de acidente que acarreta uma exposição indevida à radiação ou a uma contaminação por núcleos radioativos.

Blindagem: Material utilizado para diminuir a intensidade da radiação.

Bomba de Cobalto: É um dispositivo contendo cobalto-60, destinado ao tratamento do câncer. O termo correto para definir este dispositivo seria fonte de cobalto.

Combustível Nuclear: Material físsil ou fissionável utilizado num reator nuclear para produzir energia. O termo é também usado para definir uma mistura como a do urânio natural - na qual somente pequena parte dos átomos presentes é constituída de materiais físeis -, se esta mistura for capaz de manter uma reação em cadeia.

Contaminação Radioativa: A contaminação, radioativa ou não, caracteriza-se pela presença indesejável de um material em determinado local onde não deveria estar.

Curie: Unidade de radioatividade correspondente a $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo. O nome é uma homenagem a Madame Curie, que descobriu o rádio em 1898.

Decaimento Radioativo: Transformação espontânea de um nuclídeo em outro diferente ou do mesmo nuclídeo, tornando-se mais estável. Deste processo resulta a diminuição, ao longo do tempo, do número de átomos radioativos originais de uma amostra.

Detector: Instrumento para detectar radiações, que funciona a partir de um material ou dispositivo sensível às radiações, capaz de produzir um sinal resposta, possível de ser medido ou analisado.

Dose Limiar: Dose de radiação ionizante que produzirá um efeito biológico detectável.

Elemento Combustível: Conjunto de varetas combustíveis mantidas unidas por espaçadores e formando um feixe que é introduzido individualmente no reator nuclear. O núcleo do reator é formado por um grupo de elementos combustíveis.

Elétron-volt: É uma unidade de medida de energia. Um elétron-volt é a quantidade de energia cinética ganha por um único elétron quando acelerado por uma diferença de potencial elétrico de um volt, no vácuo.

Energia Nuclear: Energia que o núcleo do átomo possui, mantendo prótons e nêutrons juntos. Pode ser liberada por uma reação nuclear de fissão ou por decaimento radioativo.

Fissão: Divisão de um núcleo pesado em duas partes quase iguais, acompanhada da liberação de uma grande quantidade de energia e 2 ou 3 nêutrons.

Fonte de Radiação: De uma forma geral, qualquer material que emita radiação constitui-se em fonte de radiação. As fontes usadas na medicina, agricultura e indústria são " seladas ", isto é, encapsuladas de forma a impedir a disseminação do material radioativo.

Fusão: Formação de um núcleo mais pesado a partir de dois núcleos mais leves. Neste processo ocorre a liberação de energia.

Gamagrafia: Técnica muito utilizada na indústria e construção, a gamagrafia é uma radiografia obtida através de raios gama. Por meio deste processo, podem-se detectar defeitos ou rachaduras no corpo das peças. Na construção do gasoduto Brasil-Bolívia, utilizou-se a gamagrafia para garantir a integridade das tubulações.

Íon: Átomo que perdeu ou ganhou um ou mais elétrons. Por meio de ionização, o átomo torna-se eletricamente carregado.

Ionização: Processo de adição ou remoção de um ou mais elétrons a um átomo, criando íons. A ionização pode ser causada por grandes temperaturas, descargas elétricas ou radiações.

Irradiação de Alimentos: Processo cada vez mais usado em todo o mundo para melhorar a qualidade de frutas frescas, grãos e vegetais, prevenindo o brotamento, retardando a maturação e aumentando o tempo de conservação dos alimentos. Consiste em submetê-los a pequenas doses de radiação, por um tempo determinado.

Isótopos: Dois ou mais núclídeos que possuem o mesmo número atômico, mas com diferentes massas atômicas. Isótopos possuem propriedades químicas iguais, mas algumas propriedades físicas diferentes.

Massa Crítica: É a massa mínima necessária para manter uma reação nuclear em cadeia. Uma bomba atômica requer uma massa crítica de U-235 enriquecido acima de 90% de cerca de 25 kg; se for feita de Plutônio, Pu-239, a massa crítica é reduzida para 10 kg.

Material Físsil: Material que sofre fissão por nêutrons térmicos. Exemplo: urânio-235, plutônio-239 e urânio-233.

Material Fissionável: Material que, como o urânio-238, sofre fissão apenas por nêutrons rápidos. Também designa combustível nuclear.

Meia-vida: Cada elemento radioativo se transmuta a uma velocidade que lhe é característica. Meia-vida é o tempo necessário para que a sua atividade seja reduzida à metade da atividade inicial. Alguns elementos possuem meia-vida de milionésimos de segundos. Outros, de bilhões de anos.

Molécula: Menor porção de uma substância que mantém sua composição e propriedades químicas. É formada por grupos de átomos.

Monitoração das Radiações: Determinação contínua e periódica da quantidade de radiação presente em uma determinada área.

Nêutron: Partícula elementar sem carga, encontrada no núcleo de átomos mais pesados que o hidrogênio. São os nêutrons que mantêm a reação de fissão em cadeia no reator nuclear.

Núcleo do Átomo: Parte central do átomo, com pequeníssima dimensão (1/10.000 do diâmetro do átomo), mas que contém praticamente toda sua massa. É composto de prótons e nêutrons.

Oncologia: Área da Medicina que estuda o câncer e suas formas de tratamento.

Radiação: Energia que se propaga através da matéria ou do espaço em forma de onda ou partícula.

Radiação Cósmica: É a radiação proveniente do espaço e que resulta de interações nucleares entre partículas altamente energéticas emitidas pelo sol e outras estrelas e as moléculas de gás da atmosfera.

Radiação Ionizante: Qualquer radiação que retira ou desloca elétrons dos átomos, produzindo íons.

Radiação Natural: Radiação existente no meio ambiente, proveniente de raios cósmicos, de elementos radioativos naturais, etc.

Radioatividade: Decaimento espontâneo ou desintegração de um núcleo atômico instável.

Radiografia: É uma imagem obtida por um feixe de raios X ou raios gama que atravessa a região de estudo e interage com uma emulsão fotográfica ou tela fluorescente.

Radioisótopo: Isótopo radioativo. Isótopo instável de um elemento que decai ou se desintegra, emitindo radiação ionizante.

Radiólise: É a quebra de ligações químicas com o uso de radiação. No caso da água, especificamente, o processo é bastante complexo, contudo, sabe-se que esta substância é em grande parte convertida em radicais livres de hidrogênio (H^+) e hidroxila (OH^-). Estes podem ligar-se a outros radicais livres e formar peróxido de hidrogênio ($OH^- + OH^- = H_2O_2$) e hidroperoxila ($H^+ + O_2 = HO_2$), os quais representam as principais substâncias tóxicas ou venenosas para a célula.

Radioproteção: Conjunto de medidas que visam proteger o ser humano e o meio ambiente de possíveis efeitos nocivos causados pela radiação ionizante.

Raios Gama: É o tipo de radiação emitida pelos núcleos atômicos quando são excitados.

Raios X: São raios penetrantes irradiados pelos átomos quando ionizados. Os raios X são emitidos quando elétrons acelerados por alta voltagem se lançam contra uma chapa de tungstênio e sofrem frenagem, perdendo energia. Têm a mesma natureza da radiação gama, diferindo apenas pela origem. Os raios X não saem do núcleo do átomo. Por isso, não são energia nuclear. Os aparelhos de raios X não são radioativos; só emitem radiação quando estão ligados (em operação).

Reação em Cadeia: Reações sucessivas. Numa reação de fissão em cadeia, um núcleo de um material fissil absorve um nêutron e fissiona-se, liberando 2 ou 3 nêutrons, que, por sua vez, são absorvidos por outros núcleos físeis, repetindo o processo.

Rejeitos Radioativos: Qualquer material resultante de atividades relacionadas a radionuclídeos (materiais radioativos) em quantidades superiores aos limites estabelecidos por normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear, para o qual a reutilização é imprópria ou não prevista. Comumente emprega-se a expressão lixo atômico como referência ao rejeito radioativo.

Salvaguardas: Conjunto de medidas destinadas à proteção e ao controle de material nuclear, existente em qualquer planta ou instalação do chamado ciclo do combustível nuclear. Atividade que permite identificar, em tempo hábil, eventuais desvios de material nuclear, de forma a impedir sua utilização para fins não autorizados. A base legal das Salvaguardas provém de normas e acordos internacionais e do preceito constitucional que trata do uso exclusivamente pacífico da energia nuclear.

Terras Raras: Grupo de 15 elementos metálicos quimicamente similares (série lantanídeos), utilizados na fabricação de eletroeletrônicos, raios laser, supercondutores, supermagnetos, dentre outros materiais. As terras raras fazem parte da monazita, cuja constituição inclui também o urânio e o tório.

Tomografia: A Tomografia Computadorizada utiliza um aparelho de raios X que gira a sua volta, fazendo radiografias transversais de seu corpo.

Torônio: Nome dado ao isótopo Rn-220 do gás nobre radônio, produzido por um processo natural e constante a partir de desintegração de elementos radioativos geralmente presente nas tochas ígneas e sedimentares (U e Th) e também por fontes artificiais como as centrais térmicas alimentadas por carbono. Tem esse nome por ser originado da série radioativa do tório e provém do decaimento do isótopo 224 do rádio. Se desintegra rapidamente (meia-vida de 55 segundos) formando o Pb-210 cuja meia vida aproximada é de 22 anos.

Traçador Radioativo: Pequena quantidade de um isótopo radioativo incorporado a um sistema, com a finalidade de definir seu percurso ou localização. Tem diversas aplicações na medicina, indústria, agricultura e na proteção ao meio ambiente.

12 – Referências

- [1] P. A. Tipler e R. A. Llewellyn Física Moderna, Terceira Edição, LTC, Rio de Janeiro, 2001.
- [2] F. S. Barros, Comunicação Particular, Rio de Janeiro, 2006.
- [3] A. Gaspar, Física 3 – Eletromagnetismo e Física Moderna, Primeira Edição, Ática, São Paulo, 2000.
- [4] E. Okuno, Radiação Ionizante, Autos de Goiânia, Suplemento vol. 7 nº 40, Ciência Hoje, março 1988.
- [5] S. Zemansky, Física 3, Eletricidade, Magnetismo e Tópicos de Física Moderna, LTC, Rio de Janeiro, 1985.
- [6] B. P. Mazzili, C. R. R. Filho, Y. Kodama, F. F. Suzuki, J. C. Dellamano, J. T. Marumo, M. P. Sanches, R. Vicente e S. A. Bellintani, Noções Básicas de Proteção Radiológica, Apostila Educativa do Ipen, São Paulo, Agosto de 2002.
- [7] E. M. Cardoso, I. P. Alves, C. Braz e S. Pestana, Aplicações da Energia Nuclear, Apostila Educativa da CNEN, Rio de Janeiro.
- [8] P. Aguiar, Jornal do Brasil, Seção Saúde Ciência & Vida, Rio de Janeiro, Domingo, 23 de abril de 2006.
- [9] SBF Interroga CNEN, Autos de Goiânia, Suplemento vol. 7 nº 40, Ciência Hoje, março 1988, página 16.
- [10] E. M. Cardoso, I. P. Alves, J. M. Lima, L. Tahuata, P. F. H. Filho, C. Braz e S. Pestana, Radioatividade, Apostila Educativa da CNEN, Rio de Janeiro.
- [11] A. C. P. Azevedo, Radioproteção em Serviços de Saúde, Apostila Educativa da FIOCRUZ, Rio de Janeiro.
- [12] Site, <http://www.abfm.org.br/fm.asp>, 30.10.2006.
- [13] Site, <http://www.if.ufrj.br>, 11.10.2006.
- [14] E. P. Franca, Autos de Goiânia, Suplemento vol. 7 nº 40, Ciência Hoje, março 1988.
- [15] Site, <http://www.cnen.gov.br/acnen/atividades.asp>, 11.10.2006.
- [16] O. D. Gonçalves, Presidente Comissão Nacional de Energia Nuclear. Esclarecimentos Sobre o Relatório Sobre “Fiscalização e Segurança Nuclear”, Rio de Janeiro, 2006.
- [17] W. Diogo, Jornal do Brasil, Seção Informe Econômico, Quinta-Feira, 24 de agosto de 2006.
- [18] S. S. Barros e J. J. F. Sousa, Técnicas de avaliação qualitativa em sala de aula – previsão – observação – explanação – POE – a lei da inércia, em Fundamentos de Psicodidática Para o Ensino de Física. Pro – Ifen/ PROMED – 2005 (SEE-RJ/CCMN/IF-UFRJ).

13 – Sugestões Bibliográficas para Aprofundamento

1. P. A. Tipler e R. A. Llewellyn Física Moderna, Terceira Edição, LTC, Rio de Janeiro, 2001.
2. A. Gaspar, Física 3 – Eletromagnetismo e Física Moderna, Primeira Edição, Ática, São Paulo, 2000.
3. B. P. Mazzili, C. R. R. Filho, Y. Kodama, F. F. Suzuki, J. C. Dellamano, J. T. Marumo, M. P. Sanches, R. Vicente e S. A. Bellintani, Noções Básicas de Proteção Radiológica, Apostila Educativa do Ipen, São Paulo, Agosto de 2002.
4. E. M. Cardoso, I. P. Alves, C. Braz e S. Pestana, Aplicações da Energia Nuclear, Apostila Educativa da CNEN, Rio de Janeiro.
5. E. M. Cardoso, I. P. Alves, J. M. Lima, L. Tahuata, P. F. H. Filho, C. Braz e S. Pestana, Radioatividade, Apostila Educativa da CNEN, Rio de Janeiro.
6. A. C. P. Azevedo, Radioproteção em Serviços de Saúde, Apostila Educativa da FIOCRUZ, Rio de Janeiro.
7. A Energia – Biblioteca Científica LIFE – Livraria José Olympio Editora – Rio de Janeiro.
8. Y. Nouailhetas, Radiações Ionizantes e a Vida, Apostila educativa da CNEN, Rio de Janeiro.

14 – Sugestões Bibliográficas para Aprofundamento na Internet

1. <http://www.cnen.gov.br>
2. <http://www.ird.gov.br>
3. <http://www.fiocruz.br>
4. <http://www.eletronuclear.gov.br>
5. <http://www.ablím.org.br>
6. <http://www.comciencia.br>