



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE BAURU- FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

RADIOATIVIDADE: ASPECTOS HISTÓRICOS E EVOLUTIVOS A
SERVIÇO DA HUMANIDADE

HERMMANN ULISSES SILVA DE OLIVEIRA

BAURU

JAN/2017

HERMMANN ULISSES SILVA DE OLIVEIRA

**RADIOATIVIDADE: ASPECTOS HISTÓRICOS E EVOLUTIVOS A
SERVIÇO DA HUMANIDADE**

Monografia apresentada no curso de Licenciatura em Química da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. João Roberto Fernandes

BAURU

MAR/2017

HERMMANN ULISSES SILVA DE OLIVEIRA

**RADIOATIVIDADE: ASPECTOS HISTÓRICOS E EVOLUTIVOS A
SERVIÇO DA HUMANIDADE**

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. João Roberto Fernandes (Orientador)
Departamento de Química da Faculdade
de Ciências da UNESP de Bauru

M^a. Gabriela Bueno Denari
Departamento de Educação da Faculdade
de Ciências da UNESP de Bauru

M^e. David Santos Souza Padovini

Oliveira, Hermmann Ulisses Silva, 2017 - Radioatividade: Aspectos históricos e evolutivos a serviço da humanidade /Hermmann Ulisses Silva de Oliveira - 2017.

Orientador: Prof. Dr. João Roberto Fernandes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Estadual Paulista, Licenciatura em Química. Faculdade de Ciências, Bauru, 2017.

Dedico esta monografia, primeiramente, a Deus por ter me abençoado e me concedido forças para continuar até o fim e, dedico posteriormente, a minha família por estar sempre me apoiando. Dedico, também, este trabalho ao autor pela dedicação e empenho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida, saúde, pela capacidade intelectual que adquiri ao longo da graduação e por sempre estar ao meu lado desde os momentos bons até os ruins.

Sou muito grato a família que tenho. A minhas irmãs, Tatiane Rodrigues e Elisângela Rodrigues, ao meu pai Anilson Silva de Oliveira e a minha guerreira e mãe Dinar Rodrigues Silva que, além de me aturar a vida inteira, me deu forças e condições para que eu estivesse na condição atual. Se venci, foi graças a essa mulher.

Sou muito grato ao Colégio Adventista de São Miguel Paulista pela oportunidade de estudar em uma qualificada rede de ensino particular. Quero destacar a professora Dulcineia Martins e a diretora Ione do Carmo Chuery dos Santos por ter insistido em me auxiliar mesmo dando um pouco de trabalho.

Agradeço aos meus educadores do Colégio Adventista de Bauru, em especial a diretora Suzete Aguas Maia e ao professor de física Alexandre Carmo, que me apoiaram de maneira incrível no ensino médio e nunca descreditaram dos meus sonhos.

Na caminhada acadêmica fiz amigos que me ajudaram a mudar minha maneira de enxergar o mundo e sou grato a eles também. Leon Oliveira, Mateus Paulozzi, Luísa Ruzza, Rodrigo Arena, Diego Sanches, Guilherme Silva, Carlos Vianni, entre outros que contribuíram muito.

Fora da linha acadêmica, quero agradecer em um amigo em especial: Dr. Vanderlei Ferreira de Lima. Agradeço por acreditar no meu potencial, pelos conselhos e pelos gestos nobres provendo recursos literários para que eu pudesse ter um melhor desempenho na minha carreira profissional.

A Universidade Estadual Paulista do Campus de Bauru é grande demais e me deu a oportunidade de ter uma segunda família, a Família Futcampo. Agradeço a todos que fizeram parte dessa família fazendo eu aprender alguns valores importantes sobre a vida. Agradeço, em especial o professor Paulo do Amaral e meus companheiros de equipe Pedro Alves e Gabriel Fortunato pelo companheirismo.

Não posso deixar de agradecer ao professor Dr. Alexandre Legendre por não medir esforços para me ajudar e ao professor Dr. João Roberto Fernandes pelos direcionamentos, não somente no trabalho de conclusão de curso, mas sim em todas as disciplinas ministradas, por todos puxões de orelha – creio que sem isso, eu não teria

evoluído tanto – e por não deixar de acreditar em mim, proporcionando todo suporte possível.

Por fim, agradeço a minha amiga, parceira e namorada Bruna Straus por estar comigo nessa reta final me incentivando e crescendo junto comigo.

Olhando esses agradecimentos, percebi que minha graduação valeu à pena. Vocês foram imprescindíveis na minha formação. Muito obrigado!

“Eu nunca vejo o que já foi feito. Eu somente vejo o que ainda falta para fazer.”

Marie Curie

RESUMO

A ciência caminhou com poucos recursos por volta de 12 séculos, a que se deve a inúmeros fatores tanto políticos quanto econômicos, inibindo o avanço científico por meio de pesquisas e estudos. Com a radioatividade não foi diferente. É uma temática consideravelmente nova, bem como as ciências em sua totalidade. A radioatividade foi estudada, pesquisada e analisada durante muitos anos, mas nada acessível de forma popular por ter sempre perguntas a serem respondidas e propriedades enigmáticas, mas, quando ficou afável, sucedeu de formas trágicas através de acidentes e explosão de bombas atômicas. A partir desse momento, houveram visões negativas que positivas dividindo opiniões no ramo científico. Todavia, com gestos nobres de inúmeros cientistas - destacando Marie Curie – começou-se a nutrir concepções positivas a respeito desse novo conceito e uma relevante aceitação por parte popular. Os processos evolutivos e contribuição da medicina nuclear, no que tange a humanidade, possuem benefícios em prol da saúde e bem-estar. A presente revisão foi dividida em três partes, sendo elas: surgimento – é imprescindível estudar com afinco a fundamentação histórica, com o objetivo de entender a definição atual -, descartes de materiais radioativos e a relação que a radioatividade tem com a vida.

Palavras-chave: Ciência; Radioatividade; Medicina nuclear.

ABSTRACT

Science has stagnated for several centuries, which has become a myriad of political as well as economic factors, inhibiting scientific advancement through research and study. With radioactivity it was no different. It is a whole new theme, as well as a science in its entirety. Radioactivity has been studied, researched and analyzed for many years, but it is not accessible in a popular way through questions to be answered and enigmatic properties, but when made affable, the result of tragic forms through accidents and explosion of atomic bombs. From the moment, there were more negative visions than positive ones. However, thanks to the noble gestures of countless scientists - notably Marie Curie - began a concept of positive concepts for a concept of new concept and a great popular acceptance. Evolutionary processes and the contribution of nuclear medicine, which does not have humanity, have sensational benefits for health and well-being. The present revision was divided into three parts: the formation of fundamental concepts, the objective of understanding the current definition, the performances of radioactive materials and the relationship between radioactivity and life.

Keyword: Science; Radioactivity; Nuclear medicine.

Índice de Figuras

Figura 1: Isótopos de hidrogênio	04
Figura 2: Leucipo e Demócrito	05
Figura 3: John Dalton.....	06
Figura 4: Amadeo Avogadro.....	06

Índice de Gráfico

Gráfico 1: Decaimento radioativo do trítio	18
--	----

Índice de Tabelas

Tabela 1: Efeitos de uma radioexposição aguda em adultos de qualquer elemento.....	31
Tabela 2: Exposições Agudas Localizadas	32

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	01
1. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	03
2. O SURGIMENTO DA RADIOATIVIDADE ATÉ ATINGIR A DEFINIÇÃO QUE COMPREENDEMOS NO INÍCIO DO SÉCULO XXI.....	04
2.1 ESTRUTURA ATÔMICA E ISÓTOPOS	04
2.2 BREVE HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE.....	05
2.3 PROPRIEDADES RADIOATIVAS.....	13
2.4 TIPOS DE RADIAÇÃO	15
2.4.1 RADIAÇÃO ALFA	15
2.4.2 RADIAÇÃO BETA	15
2.4.3 RADIAÇÃO GAMA.....	16
2.5 DECAIMENTO OU DESINTEGRAÇÃO	17
3. RESOLUÇÕES SOBRE DESCARTES RADIOATIVOS E A NEGLIGÊNCIA DOS ADMINISTRADORES.....	20
3.1 REJEITOS E TRATAMENTOS RADIOATIVOS	20
3.2 ACIDENTES NUCLEARES	23
3.2.1 ACIDENTE EM THREE MILE ISLAND.....	23
3.2.2 ACIDENTE EM CHERNOBYL.....	24
3.2.3 ACIDENTE EM GOIÂNIA.....	26
4. A RADIOATIVIDADE E SUA INFLUÊNCIA NO CORPO HUMANO	27
4.1 RADIAÇÃO E A INTERAÇÃO COM O CORPO HUMANO	27
4.2 AVANÇOS RADIOATIVOS A SERVIÇO DA HUMANIDADE	32
4.3 MÉTODOS DIAGNÓSTICOS	34
4.3.1 CARDIOLOGIA E PNEUMOLOGIA	34
4.3.2 GASTROENTEROLOGIA.....	35
4.3.3 ENDOCRINOLOGIA.....	36
4.3.4 NEFRO-UROLOGIA.....	36

4.3.5 SISTEMA NERVOSO CENTRAL.....	37
4.3.6 MÚSCULO-ESQUELÉTICO	38
4.3.7 GÁLIO-67 E LEUCÓCITOS MARCADOS	38
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	38
REFERÊNCIAS.....	40

INTRODUÇÃO

Quando o homem começou a se questionar sobre o mundo, surgiram algumas ideologias adotadas sobre a existência do planeta Terra. Um pedaço de terra de tamanho insignificante na via Láctea, porém com mistérios intrigantes e perguntas, propostas pelos próprios habitantes que, levaram séculos para serem respondidas.

A ciência visa o conhecimento detalhado e adquirido por meio de observação, pesquisa, estudo ou explicações de situações, relativamente simples, mas complexas à mente humana. Nos séculos de III a V a.C., os nomes mais conhecidos da ciência da natureza foram de alguns pensadores que observaram o meio em que habitavam de um ângulo inverso, em comparação ao ângulo que as pessoas da época estavam acostumadas a entender. Começaram a atribuir teorias e postulados de aspectos minuciosos da natureza como a queda das folhas e das frutas de árvores, os chamados princípios eternos baseados na água, no ar, no fogo, na terra e nos números, entre outros. Surgiram demais filósofos que estimularam cidadãos de tenra idade a criar questionamentos sobre a própria Sociedade ou sobre o governo que administrava o futuro de uma nação. Ali nascia as distintas tendências científicas que, em suma, contribuíram para a expansão de ideias da mente humana.

A radioatividade é uma das vertentes abordada pela física e pela química de uma maneira sigilosa, como se fosse um grande segredo de Estado ou uma mina de ouro que não pode entrar em contato com qualquer indivíduo. Realmente, o convívio com os elementos radioativos deve ser tratado com responsabilidade e de maneira segura, pois, hoje se sabe que, a instabilidade dos raios ionizantes pode fugir do controle do administrador.

Após a evolução da ciência caminhar com poucos recursos por muito tempo, inúmeros cientistas tiveram um incrível ímpeto em se engajar nos estudos pertinentes à influência de elementos altamente energéticos nos séculos XIX e XX. Quanto mais estudavam, mais descobriam as maravilhas do mundo invisível e da constituição da matéria desde o visível aos olhos humanos até o que à visão humana fosse completamente ineficaz.

A radioatividade é segura ou perigosa? O contato com os radionuclídeos não faz mal para a minha geração vindoura? Radioatividade não é aquela influencia invisível

que devasta regiões e mata os atingidos de câncer? Radioatividade é aquela “coisa” que dizimou Chernobyl? O que realmente aconteceu em Goiânia? Quais foram as intenções dos descobridores das partículas radioativas? São essas e muitas outras perguntas que serão reveladas ao longo da apresentação desta monografia com o objetivo de analisar criticamente alguns aspectos históricos, propondo algo para melhorar a saúde de uma parte da população.

1. METODOLOGIA DE PESQUISA

Este trabalho foi realizado por meio de uma revisão bibliográfica, de cunho qualitativo, baseada em estudos, pesquisas e publicações concernentes às ciências físicas, químicas e médicas, abordando a radioatividade, a respectiva história, os meios de tratamento do “lixo” radioativo e a relação direta com os seres humanos a partir de tratamentos radioterápicos.

Mediante a proposta, houve necessidade de recorrência a artigos, publicações, livros e até mesmo a Comissão Nacional de Energia Nuclear que, tem por função, redigir algumas legislações, normas e anexos a serem seguidos e obedecidos rigorosamente a fim de diminuir os riscos químicos bem como acidentes, tragédias e indução de óbitos precoces ou algum tipo de degeneração fisiológica.

A escrita contém uma linguagem simples e social com o intuito de ser de fácil entendimento e fácil acesso a toda população na finalidade de contribuir com a disseminação da informação, desmitificar alguns aspectos da radioatividade como um todo – a radioatividade é apresentada como uma força invisível que, ao atingir um indivíduo, há contração de doenças degenerativas e riscos de atingir a geração futura.

Foram utilizados artigos publicados por renomados médicos que tiveram recursos e referências bem elaboradas para que houvesse uma pesquisa séria e eficaz, fornecendo informações com riquezas de detalhes e contribuindo para o embasamento teórico de toda seguimento das influências positivas que os raios ionizantes trazem à saúde e na descoberta de anomalias em órgãos dos sistemas que compõem o corpo humano.

2. SURGIMENTO DA RADIOATIVIDADE ATÉ ATINGIR A DEFINIÇÃO QUE COMPREENDEMOS NO ÍNICIO DO SÉCULO XXI.

2.1 ESTRUTURA ATÔMICA E ISÓTOPOS

O átomo contém, em sua estrutura, prótons (carga positiva), nêutrons (carga neutra) e elétrons (carga negativa). Cada elemento químico tem uma quantidade de cada carga como forma de registro de identificação, porém, podem ter massas diferentes e, quando um átomo de um elemento químico tem essa variação nas massas são chamados de isótopos. Um exemplo muito peculiar é o do átomo de hidrogênio, onde pode ser encontrado de três formas distintas: Hidrogênio – com um próton – Deutério – com um próton e um nêutron – e Trítio – com um próton e dois nêutrons. Os três isótopos possuem o mesmo número de prótons ou número atômico, representados pelo número 1 à esquerda no canto inferior e a massa que cada isótopo possui é representada pelo número localizado no canto superior e acima do número de prótons. (CARDOSO, 2002.)

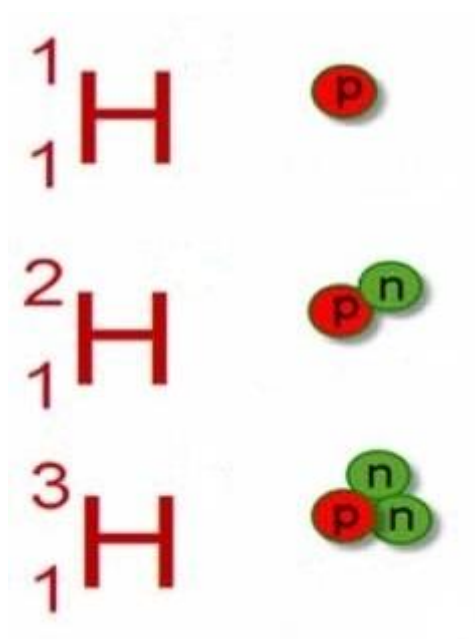


Figura 1 - Isótopos de Hidrogênio

Fonte: http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo_legenda/4a962e8edf3fb9a920de372d1c276ac1.jpg

2.2 HISTÓRIA DA RADIOATIVIDADE

No início do século V a.C. surgiu uma teoria que, até então, revolucionaria não somente a ciência, mas toda a filosofia acoplada à maneira de enxergar o mundo e as maravilhas naturais: A Teoria Atomística. Proposta por dois gênios nunca esquecidos e pioneiros da ciência da natureza, Leucipo e Demócrito (figura 2) que, em suma, criaram uma hipótese de que o universo é constituído por átomos, partículas indivisíveis, invisíveis, impenetráveis e animadas de movimento próprio. (BUENO, 1974)



Figura 2 – Leucipo e Demócrito

Fonte: http://www.omundodaquimica.com.br/academica/imagens/fq_gregos.jpg

Surgiram algumas teorias baseadas na afirmação de Leucipo e Demócrito, porém, a mais conhecida foi a de John Dalton (figura 3), que, em 1803, criou uma hipótese baseada em três postulados:

“(I) Os elementos químicos consistem de partículas discretas de matéria, os átomos, que não podem ser subdivididos por qualquer processo químico conhecido e que preservam a sua individualidade nas reações químicas.

(II) Todos os átomos do mesmo elemento são idênticos em todos os aspectos, particularmente em seus pesos; elementos diferentes tem átomos com distintos pesos. Cada elemento é caracterizado pelo peso dos seus átomos.

(III) Os compostos químicos são formados pela união de átomos de diferentes elementos em proporções numéricas simples, isto é: 1:1, 1:2, 2:1, 2:3, etc. “(CNEN, p.03, 2014)

Danton ao se aprofundar no universo invisível, misterioso e cheio de incógnitas das menores partículas que dão forma, luz, energia e propriedades organolépticas a tudo que conhecemos no planeta Terra. (CNEN, 2014)

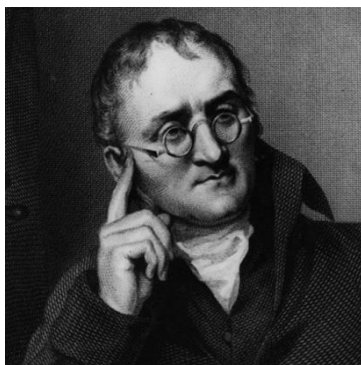


Figura 3 - John Dalton

Fonte: http://a5.files.biography.com/image/upload/c_fit.cs_srgb.dpr_1.0.h_1200.q_80.w_1200/MTE1OD_A00TcxNTk5OTU1NDY5.jpg

Trilhando os passos de Dalton, em relação aos estudos científicos, Amadeo Avogadro (figura 4), trabalhando para entender de forma correta as leis volumétricas de Gay-Lussac, elabora a hipótese “volumes iguais de gases diferentes, nas mesmas condições de pressão e temperatura, tem o mesmo número de moléculas na qual demonstra a existência de moléculas em um conjunto de átomos classificados em monoatômicos, diatômicos e assim por diante.



Figura 4 – Amadeo Avogadro

Fonte: http://reichchemistry.wikispaces.com/file/view/Avogadro_Amedeo.jpg/98105437/Avogadro_Amedeo.jpg

No ano de 1834, um inglês, nascido em 1791, chamado Michael Faraday (figura 5) conhecido como “o melhor experimentalista na história da ciência”, afirmou, com

embasamento experimental, que os átomos carregavam cargas elétricas e, quando encontram-se instáveis ou excitados podiam compartilhá-las, assim, sendo classificados como íons positivos (cátions) ou íons negativos (ânions). Os íons foram definidos dessa forma pelo simples fato da relação de proporção; uma carga contrária a outra, de proporções iguais – 1:1, 2:2, 3:3, etc - ,se neutralizavam estabelecendo uma estabilidade confortável para a molécula.(CNEN, 2014)

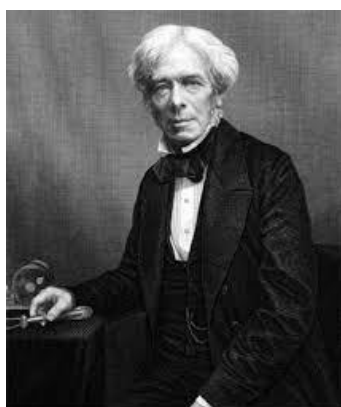


Figura 5 - Michael Faraday

Fonte:http://faradayclubaward.org/wp-content/uploads/2012/08/Michael_Faraday2.jpg

Após 35 anos dos estudos de Faraday, Dmitri Mendeleev (figura 6) divulgou uma classificação periódica dos elementos com os átomos organizados de acordo com seus respectivos pesos.(CNEN, 2014)

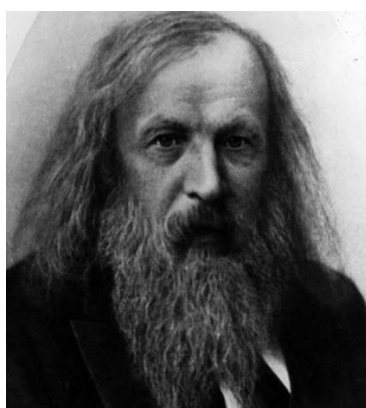


Figura 6 - Dmitri Mendeleev

Fonte:http://a5.files.biography.com/image/upload/c_fit,cs_srgb,dpr_1.0,h_1200,q_80,w_1200/MTE5NTU2MzE2MzEzMDYwODc1.jpg

O britânico Joseph John Thomson (figura 7) foi o primeiro cientista a apresentar um modelo atômico com características do que fora proposto por Dalton acoplado à ideia das cargas propostas por Faraday. Thomson foi um renomado físico nascido na cidade de Manchester que, com estudos avançados sobre os elétrons e suas propriedades ondulatórias, chegou a receber o Prêmio Nobel em 1906. Thomson subordinou gases a elevadas tensões elétricas e, dessa maneira foi observado emissões de raios denominados raios catódicos. Posteriormente, foi introduzido um campo elétrico externo, observando que o feixe dos raios catódicos sofria alteração no trajeto, se aproximando da placa com carga positiva e, chegando a conclusão que estas emissões são portadoras de carga negativa. O famoso experimento do tubo de raios catódicos pôde concluir a existência dos elétrons, prótons e sua relação de proporção com a massa de cada átomo. Thomson apresentou o primeiro modelo atômico onde havia núcleo, contendo cargas positivas, denominada prótons, envolto por cargas negativas, chamadas de elétrons.



Figura 7 - J.J. Thomson

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c1/J.J_Thomson.jpg/200px-J.J_Thomson.jpg

Passados três anos da entrega prêmio Nobel à Thomson, um importante físico americano, Robert Andrews Millikan (figura 8), inicia pesquisas aprofundadas na determinação da carga elétrica através do famoso experimento da gotícula de óleo (figura 9), onde conseguiu balancear as forças elétricas e gravitacionais em pequenas gotas de óleo carregadas entre duas placas metálicas. Obtendo conhecimento do valor do campo elétrico foi possível determinar a carga da gota. Desta forma, contribuiu para a descoberta e desenvolvimento da Radioatividade e dos Raios-X. (CNEN, 2014)

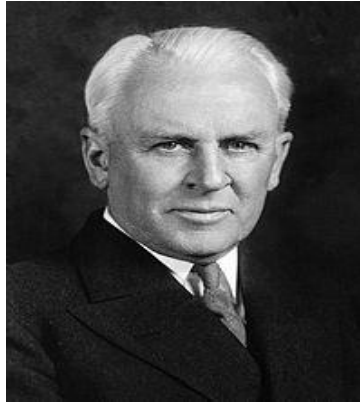


Figura 8 - Robert Andrews Millikan

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c1/J.J._Thomson.jpg/200px-J.J._Thomson.jpg

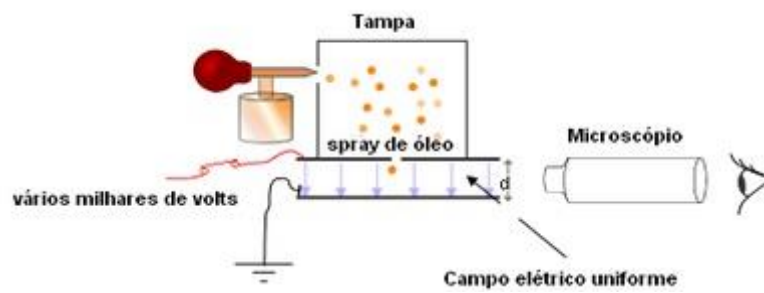


Figura 9 - Experimento de Millikan da gotícula de óleo

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/28/Milikan_exp.png/390px-Milikan_exp.png

Em 8 de novembro de 1895, Wilhem Conrad Röntgen (figura 10) estava trabalhando em seu laboratório escuro, com afínco, buscando atingir seu principal objetivo: Determinar o alcance dos raios catódicos no lado de fora da “ampola de Crookes”. Mas o foco mudaria. Enquanto Röntgen emitia corrente elétrica nos tubos de vidro, havia uma tela revestida de platinocianato de bário e estava em uma distância que, até então, não era possível que os raios catódicos a atingissem. Enquanto a tela começou a rutilar um grande brilho, o físico alemão decidiu colocar um objeto material entre a ampola e a tela percebendo que, cada vez que fizesse isso, seus ossos apareciam na tela. Como ele, deslumbrado com tal feito, não conseguiu definir a natureza dos raios, decidiu chamá-los de Raios-X ou Radiação-X. Henri Poincaré (figura 11), por ser francês e destacado membro na academia de Ciências de Paris, em 1896, apresentou os resultados dos estudos de Röntgen, na “Revue Générale des Sciences”.(CNEN, 2014)



Figura 10 - Wilhelm Conrad Röntgen

Fonte: <https://media1.britannica.com/eb-media/64/20964-004-80386569.jpg>



Figura 11 - Henri Poincaré

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/45/Henri_Poincar%C3%A9-2.jpg/230px-Henri_Poincar%C3%A9-2.jpg

No mesmo ano da publicação dos resultados das pesquisas de Röntgen, Henri Becquerel (figura 12), entusiasmado, intensifica os estudos relacionados aos materiais fluorescentes e fosforescentes, assim, conseguindo concluir que os sais de urânio emitem radiações análogas às dos Raios-X e que impressionam chapas fotográficas – essa última conclusão foi apresentada por Niepce de Saint Victor, trinta anos após (1867) mas, por falta de conhecimentos científicos, comunicação e recursos da época, não conseguiu dar andamento aos estudos e descobrir conceitos do ramo científico. (CNEN, 2014)



Figura 12 - Henri Becquerel

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a3/Henri_Becquerel.jpg/200px-Henri_Becquerel.jpg

Posteriormente, o experimento de Becquerel foi estudado, também, por Smoluchwski, Geitel e o casal Curie – Marie Curie e Pierre Curie (figura 13). Em 1898, a senhora Curie, na capital da França, descobriu, na mesma época que o físico alemão Gerhard Schmidt a existência de um novo elemento químico altamente radioativo: o Tório. A evidenciação desse novo elemento químico com características parecidas ao Urânio levou os pesquisadores a trabalhar com tenacidade, a fim de atinar inéditas propriedades do mundo invisível da ciência. O casal Curie, em conjunto com Georges Bémont, segregou, quimicamente, os elementos que emitiam os chamados “raios de Becquerel” para analisarem as propriedades com mais atenção. Então, em 18 de julho de 1898 descobre-se o Polônio – nome dado em homenagem à pátria da madame Marie Slodowska Curie. Depois de doze longos anos de estudo, Marie evidencia a existência de outro elemento radioativo, o Rádio, onde utilizou, aproximadamente, 10 toneladas do mineral pechblenda para extrair um grama.

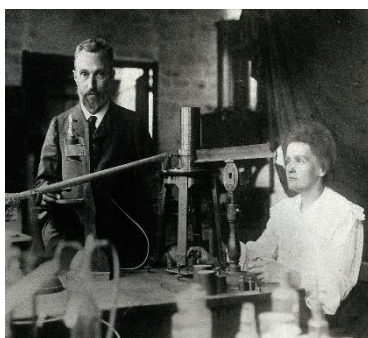


Figura 13 - Pierre e Marie Curie

Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6c/Pierre_and_Marie_Curie.jpg/1280px-Pierre_and_Marie_Curie.jpg

Nas contínuas pesquisas da radioatividade natural, verificou-se que ela se propaga em 3 níveis energéticos diferentes denominados alfa, beta e gama, com o último, inicialmente, confundido com Raios-X. (CNEN, 2014, p.07)

Cerca de um ano após a identificação da existência da radioatividade, Ernest Rutherford elaborou um experimento (figura 14), com a finalidade de estudar mais sobre os tipos de emissões de alguns elementos químicos instáveis. Rutherford bombardeou uma fina lâmina – 10^{-5} cm de espessura - de ouro com partículas alfa proveniente de uma amostra de polônio, que é um elemento químico radioativo. Através desse experimento, Rutherford percebeu que a maioria das partículas não sofria desvio, enquanto outras eram desviadas ou voltavam e, foi nesse momento, que conseguiu entender que o átomo tinha um núcleo positivo e que os elétrons ficavam afastados do núcleo, diferente do que havia sido proposto por Thomson. Com os resultados da experimentação, Rutherford chegou à conclusão de que o átomo tinha uma massa concentrada, núcleo, onde os elétrons o rodeavam, de forma aleatória, em uma certa distância havendo a existência de uma eletrosfera.

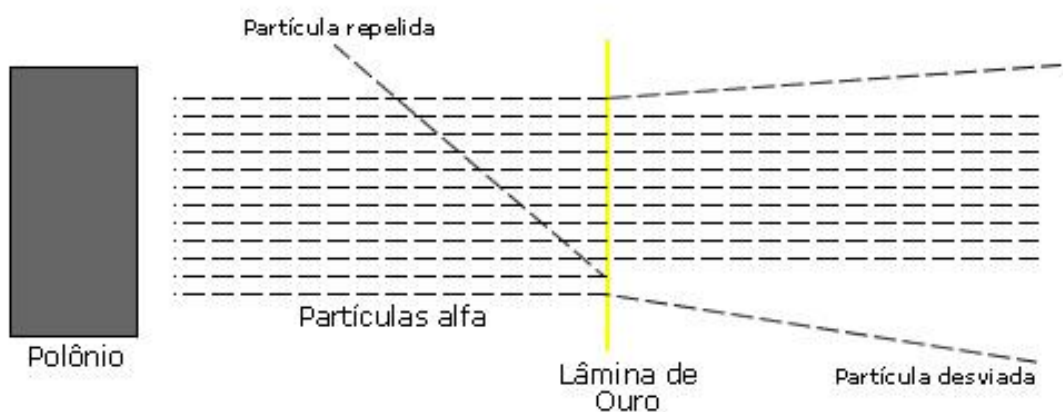


Figura 14 - Experimento de Rutherford

Fonte: <http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2010/01/experiencia-rutherford.jpg>

Dois anos mais tarde, em 1913, Niels Bohr observou que quando um gás era submetido a uma corrente elétrica era capaz de produzir luz. Intrigado com essa

emissão, observou o experimento de Rutherford e percebeu que havia um detalhe importante. Quando um elétron recebe uma certa quantidade de energia, o grau de agitação também aumenta concluindo que a energia dos elétrons de um átomo pode ser quantizada, o que possibilitou organizar os elétrons em camadas ou níveis de energia.

2.3 PROPRIEDADES RADIOATIVAS

Segundo o renomado dicionário Aurélio, a definição para radioatividade é a seguinte: “Propriedade de qualquer sistema que irradia. Propriedade que tem alguns nuclídeos de emitir espontaneamente partículas ou radiação eletromagnética, e que é característica de instabilidade dos seus núcleos.” Portanto, radioatividade é todo sistema, com núcleos altamente instáveis, e como um meio de lograr a estabilidade é capaz de emitir partículas radioativas – alfa e beta – ou ondas eletromagnéticas por ter muita energia acumulada. (FERREIRA,1999)

A medida que se foi descobrindo a radioatividade, os cientistas foram ficando mais convictos de que havia difusão de pequenas partículas. Um extraordinário equipamento foi montado por Marie Curie como indica a figura 15.

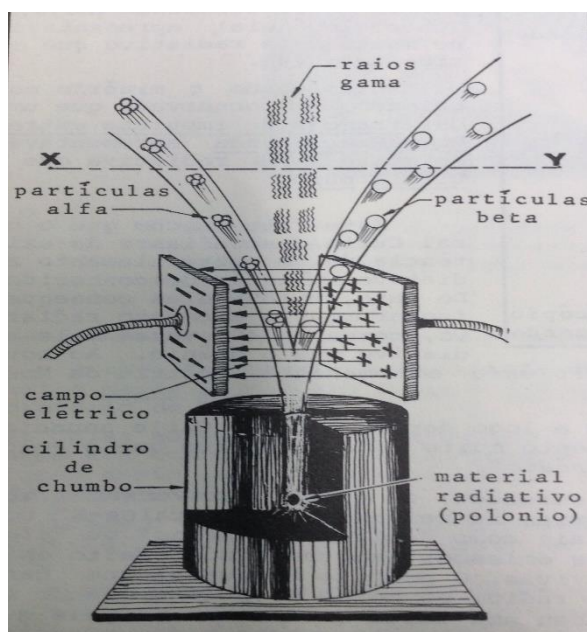


Figura 15 - Experimento de Radioatividade

Fonte: FELTRE, Ricardo, YOSHINAGA, Setsuo. **Atomística**. Ed. Moderna – São Paulo: 1970. p.50

Um cilindro de chumbo fora perfurado até a metade e, dentro, colocou-se uma porção de material radioativo – primeiramente com rádio e, posteriormente, com o polônio. Então, a radiação emitida pelo material seria lançada para uma única direção, pois o cilindro de chumbo é capaz de “estancar” as partículas “arremessadas” contra as paredes do recipiente. Na saída das radiações, são colocadas duas placas vigorosamente eletrizadas para que possa desviar as partículas de propriedades diferentes para direções distintas. (FELTRE e YOSHINAGA, 1970) Contudo, surgiram 3 direções de propagação e, foi constatado tal fato, porque no ponto X à Y havia uma chapa fotográfica (figura 16). Com esse experimento simples, porém inovador no ramo da ciência, permite, de acordo com a Figura 14, que existem 3 tipos de radiações: uma positiva e de massa elevada (alfa), uma negativa e de massa menor (beta) e outra de carga neutra, sem massa e altamente energética (gama). (FELTRE,1970)

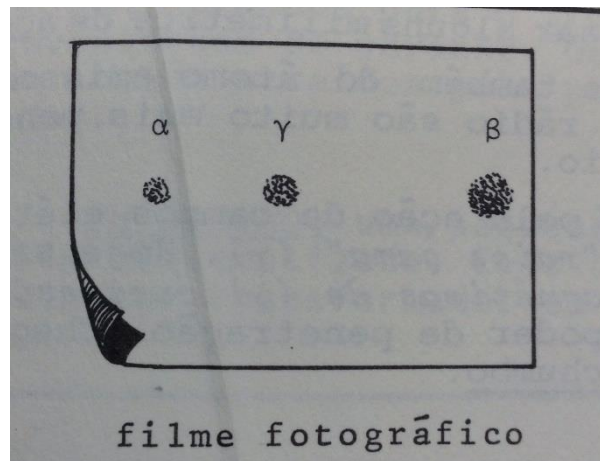


Figura 16 - Chapa fotográfica de triacetato de poliéster com o resultado das radiações.

Fonte: FELTRE, Ricardo, YOSHINAGA, Setsuo. Atomística. Ed. Moderna – São Paulo: 1970. p.51

2.4 TIPOS DE RADIAÇÃO

2.4.1 RADIAÇÃO ALFA

Quando há uma superabundância de energia no núcleo de um átomo, um dos processos mais comuns, na radioatividade, é o da emissão de um conjunto de partículas positivas, os prótons. Esse fato ocorre quando se trata de radiações alfa. A radiação alfa é uma partícula com estrutura similar à do átomo de Hélio, com dois prótons e dois nêutrons (${}^4\alpha_2$). (CARDOSO, 2002)

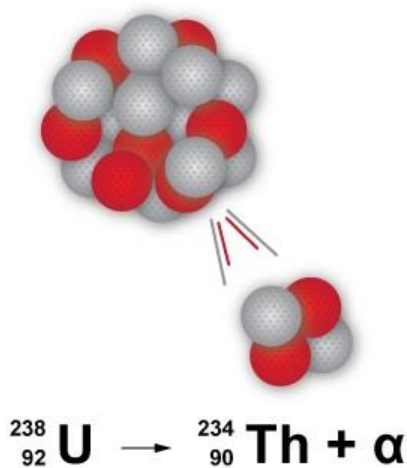


Figura 17 - Emissão de radiação alfa do átomo de Urânio

Fonte: http://maisunifra.com.br/wp-content/uploads/img_1.png

2.4.2 RADIAÇÃO BETA

Uma das metodologias de estabilização, quando um núcleo está excedente de nêutrons em relação aos prótons, é por meio da emissão de partículas negativas, os elétrons, derivado da transformação de uma partícula neutra em outra positiva. Essas são características da radiação beta. Mas, especificamente na radiação beta, há uma peculiaridade, assim, podendo haver uma conversão de prótons em nêutrons, resultando em partículas¹ chamadas beta positiva ou mais conhecida como pósitron, caso haja um excesso de prótons (${}^0\beta_{-1}$). (CARDOSO, 2002)

¹Possui massa e carga elétrica, dependendo do valor da energia que tem.

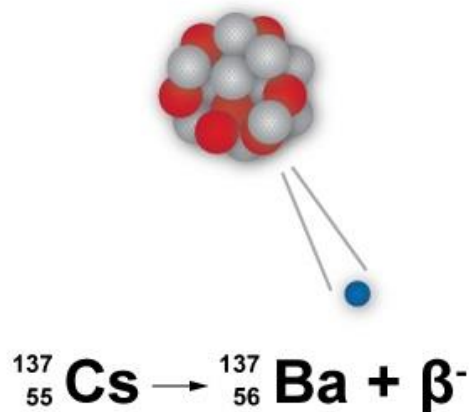


Figura 18 - Emissão de radiação beta do átomo de Césio

Fonte: http://maisunifra.com.br/wp-content/uploads/img_2.png

2.4.3 RADIAÇÃO GAMA

É um núcleo decorrente de uma emissão de radiações alfa e beta que, por ter elevadas energias em excesso, ainda não está estabilizado capaz de emitir uma onda² eletromagnética energeticamente intensa, de natureza similar à da luz, intitulada radiação gama (${}^0\gamma_0$). Não a perda de prótons e nêutrons, mas há emissão de fóton radioativo. (CARDOSO, 2002)

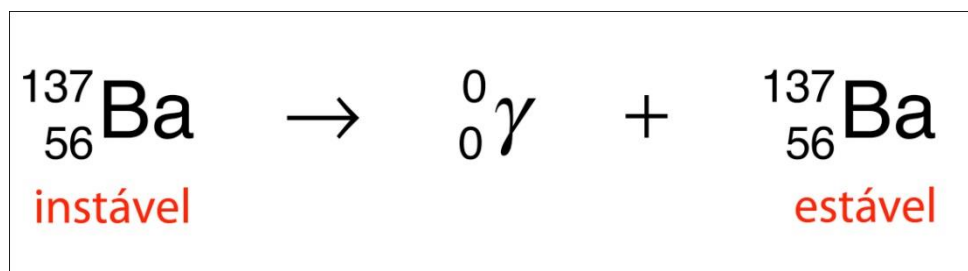


Figura 19 - Emissão de radiação gama do átomo de Bário

Fonte: <http://quimicasemsegredos.com/images/Teoria/radio/radio-eq4.jpg>

²Se propaga com a mesma velocidade da luz porém, não possui massa e nem carga elétrica, dificultando a localização e momento da emissão.

2.5 DECAIMENTO OU DESINTEGRAÇÃO

Em cada emissão há transmutação ou transformação de uma partícula sem carga para uma com carga positiva e vice-versa e perda de energia para o meio, ou absorção dela por outro núcleo instável que procura o equilíbrio energético. A transmutação ou transformação é conhecida, no ramo científico, como decaimento radioativo (figura 20), que é o tempo de depreciação paulatina de atividade³ e massa. (CARDOSO,2002, p.08)

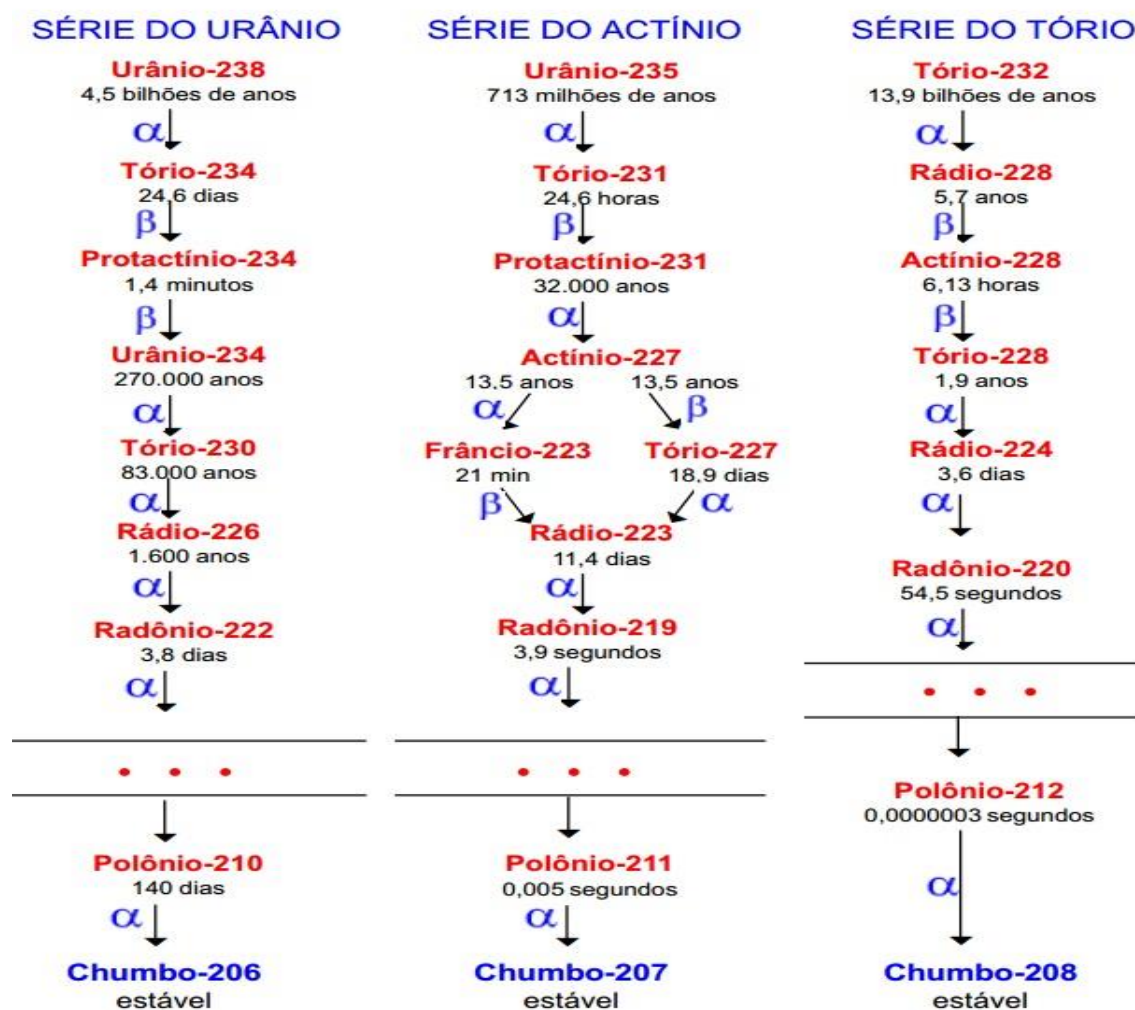


Figura 20 - Séries de decaimento radioativo

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01001/radio.pdf>

³É a taxa de emissão de radiação por segundo. Pode ser medido de duas formas:

Bq (Becquerel) = Uma desintegração por segundo

Cl (Curie) = $3,7 \times 10^{10}$ Bq

Cada reação química ocorre em velocidades diferentes, com variadas concentrações em um determinado tempo. Em cinética química, denomina-se ordem de reação. Existem reações de ordem zero, ordem um, ordem dois e assim sucessivamente. Na energia nuclear, a durabilidade dos núcleos radioativos é chamada de meia vida com reação de ordem um, onde a velocidade depende da concentração dos reagentes elevada a primeira potência. Um exemplo de decaimento radioativo é representado pelo gráfico 1 que, ao passar de um determinado tempo de existência, a massa diminui pela metade. (BORZANI, 1986) Portanto, o tempo de meia vida é a redução da atividade de um elemento/núcleo radioativo pela metade em um determinado tempo. (CARDOSO, 2002)

Pelo fato de existir essa degradação da atividade radioativa para o meio que a ciência não deu passos largos com investimentos razoáveis para pesquisas direcionadas à recuperação de áreas afetadas por radiações gama a fim de haver uma reestruturação da cidade no setor agrícola, industrial e social. A melhor saída é esperar o tempo de meia vida acabar reduzindo a zero os perigos da radioatividade, tanto para evitar riscos à saúde da população vizinha quanto para evitar que cientistas visitem essas áreas e entrem em contato com núcleos emissores de radiação assim, comprometendo a própria vida e o futuro da árvore genealógica.



Gráfico 1 - Decaimento radioativo do trítio

Fonte: <http://s5.static.brasescola.uol.com.br/img/2013/04/decaimento-do-tritio.jpg>

A radioatividade pode ocorrer de forma natural ou de forma artificial em elementos químicos com propriedades capazes de marcar chapas fotográficas, fluorescentes, provocar distúrbios no metabolismo celular, ionizar gases, entre outras. A radioatividade é uma energia nuclear muito usada para o avanço da medicina –

radioterapia é uma das técnicas que dependem de núcleos radioativos – que trabalha com átomos extremamente instáveis de forma natural ou de forma induzida. A radioatividade é de forma espontânea quando os átomos radioativos e seus isótopos são encontrados na natureza e artificial quando trabalha-se com átomos que a radioatividade não é intrínseca, provocando transmutações artificialmente no núcleo. Dentre os elementos que emitem radiação natural, destacam-se os seguintes:

Tório – É um metal muito raro de símbolo Th, massa atômica igual a 232,038g/mol, cristalino e com ponto de fusão, aproximadamente, igual a 1700 °C. A reserva mineral desse elemento é bem distribuída entre países da América, África, Europa e Ásia sendo muito indicado para o fornecimento de “energia limpa” por ser portador de um grande poder energético. **(NICACIO, 2014)**

Rádio – Um elemento químico descoberto pelo casal Curie no ano de 1898, munido de uma grande intensidade radioativa. A vertente da química/física chamada “radioatividade” tem esse nome por se tratar do rádio ter uma imensa contribuição e utilidade e houve uma busca por saber mais sobre as atividades exercidas pelo rádio. Tem uma meia vida muito longa de 1620 anos, produzindo vapores característicos de hélio e radônio. Muito útil na medicina, por emitir radiação alfa, beta e gama capazes de destruir tecidos escolhidos e até cessação da mitose. **(NICACIO, 2014)**

Urânio – Um metal, inicialmente, cinza, de número atômico elevado – 92 – e massa de 238,07g/mol. A *pechblenda* ou uranita, U_3O_8 é o minério de urânio mais conhecido, no entanto, existem mais minérios compostos por urânio que são explorados ao redor do planeta. Henri Becquerel começou sua jornada em busca da radioatividade através desse importante elemento que possui dois consideráveis isótopos: U-238 (o mais abundante), U-235 (produz combustível para reatores nucleares). **(NICACIO, 2014)**

Polônio – Metal de massa atômica igual a 209g/mol, número atômico 84 que, geralmente acompanha o Rádio. Descoberto pela Marie Sklodowska Curie e, o nome do elemento, é uma homenagem ao país de origem de Curie. **(NICACIO, 2014)**

3.RESOLUÇÕES SOBRE DESCARTES RADIOATIVOS E A NEGLIGÊNCIA DOS ADMINISTRADORES

3.1. REJEITOS E TRATAMENTOS RADIOATIVOS

Rejeitos radioativos são materiais, emissores de alguma partícula, que não têm mais utilidade ou não têm qualquer pretensão de usá-los. O, popularmente chamado, “lixo” radioativo é proveniente de inúmeros processos, como baixo grau de atividade ou ineficiência para empregar em tratamentos, contaminação dos materiais radioativos, aparatos não reutilizáveis sendo pouco ou nada sustentáveis, entre outras variadas causas. (CNEN, 1985)

Alguns insumos com meia vida curta chegam a níveis tão baixos com muita rapidez, podendo ser armazenados e esperar que o nível de atividade radioativa reduza até que se permitam o descarte como resíduo normal. Isso dependerá da constituição e conformidade dos núclídeos que o compõem, do estado físico, da concentração atual dos núcleos radioativos e, essencialmente, do tempo de decaimento ou tempo de meia vida que é intrínseco de cada isótopo. Porém, quando os níveis de diversos fatores não são atingidos, para haver um descarte como “resíduo normal”, é necessário ter a percepção que o material a ser descartado pode contribuir com a degradação do meio ambiente e ser letal à quaisquer ser vivo descartando-o de maneira segura. As normas e condições estabelecidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) – a CNEN foi criada com o intuito de proteger o ecossistema e os seres vivos que neles habitam de todo tipo de radiação utilizada ou descartada de maneira irresponsável. As condições da CNEN para que haja dispensa dos materiais radionuclídeos são: (CNEN, 1985)

Seção VII Da Dispensa para Rejeitos

Art. 28: A dispensa incondicional de rejeitos radioativos deve atender ao disposto nesta seção e deve estar em conformidade com a legislação ambiental vigente.

Subseção I Da Dispensa para Rejeitos Gasosos

Art. 29 A dispensa incondicional de rejeitos radioativos gasosos está sujeita à autorização da CNEN, com base na análise técnica dos fatores pertinentes, e deve tomar como referência valores especificados na Coluna 2 do Anexo II, Tabela II.1⁴.

Subseção II Da Dispensa para Rejeitos Líquidos

Art. 30: A dispensa incondicional de rejeitos líquidos de instalações radiativas só pode ser realizada na rede de esgoto sanitário e está sujeita aos seguintes requisitos: I - o rejeito deve ser prontamente solúvel ou de fácil dispersão em água; II - a quantidade de cada radionuclídeo liberada mensalmente pela instalação, na rede de esgotos sanitários, não deve exceder a quantidade que, se fosse diluída no volume médio mensal de esgoto liberado pela instalação, resultasse numa concentração média igual aos valores especificados na Coluna 1, Tabela II.1 do Anexo II; III - a quantidade anual total de radionuclídeos liberada na rede de esgoto sanitário não deve exceder os valores especificados na Tabela II.2 do Anexo II; IV - para radionuclídeos não constantes da Tabela II.2, a soma das quantidades anuais liberadas na rede de esgoto sanitário não deve exceder $3,7 \times 10^{10}$ Bq (1Ci); e V - a eliminação de excreta de pacientes internados com doses terapêuticas de radiofármacos deve ser feita de acordo com instruções estabelecidas na Norma CNEN NN 3.05 Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear.

Subseção III Da Dispensa para Rejeitos Sólidos

Art. 31 A dispensa incondicional de rejeitos sólidos só pode ser realizada no sistema de coleta de resíduo urbano e deve ter sua atividade específica ou total limitada aos valores estabelecidos no Anexo VI, para cada

⁴Por ser mais de 15 páginas de anexos e tabelas, segue o endereço eletrônico onde todos anexos e tabelas estão disponíveis: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm801.pdf>

radionuclídeo. Parágrafo único. Para os radionuclídeos que não constem na Tabela do Anexo VI, o nível de dispensa deverá ser aprovado pela CNEN, mediante consulta formal feita pelo titular da instalação.

Art. 32 Frascos, seringas e outros recipientes que tenham contido líquidos radioativos só podem ser dispensados no sistema de coleta de resíduos de serviços de saúde ou resíduo urbano após a remoção de qualquer líquido radioativo remanescente. Parágrafo único. O líquido radioativo residual só pode ser eliminado na rede de esgotos em conformidade com os requisitos estabelecidos no Art. 30 desta Norma.

Art. 33 Para fins de cálculo do tempo de decaimento necessário para dispensa de rejeitos sólidos no sistema de coleta de lixo urbano, deve ser considerado que 10% do conteúdo radioativo inicial ficam adsorvidos no frasco, seringa ou outros materiais que tiveram contato com o líquido radioativo, salvo se estiver disponível método confiável de medida experimental.

Art. 34 Os rótulos portando o símbolo internacional indicativo de presença de radiação presentes nos rejeitos sólidos devem ser retirados ou descaracterizados, por ocasião de sua dispensa no sistema de coleta de resíduo urbano.

Art. 35 O valor estabelecido para dispensa incondicional de grandes quantidades de objetos contaminados na superfície por radionuclídeos das séries naturais é 3 kBq/m^2 , considerando o radionuclídeo pai e seus descendentes em equilíbrio secular. Parágrafo único. Adicionalmente à dispensa incondicional, citada no caput deste artigo, aplicam-se os valores de atividade específica constantes do Anexo VI desta Norma.

Art. 36 Valores de atividades específicas não constantes do Anexo VI desta Norma serão estabelecidos pela CNEN, mediante consulta formal feita pelo titular. **(CNEN, 2014, p. 06 e 07)**

Essas resoluções foram propostas de maneira rigorosa, a fim de não colocar em risco a vida de nenhum indivíduo que manuseie ou entre em contato com os rejeitos radioativos, visando a não contaminação do meio ambiente. Ao descartar os materiais

radioativos é necessário que faça um roteiro para elaboração de rejeitos radioativos e tenha uma ficha de identificação de rejeitos radioativos contidos em cada volume dispensado com o objetivo de controlar as matérias-primas que entram e os sedimentos que saem da instituição que o utilizou.

3.2 ACIDENTES NUCLEARES

Além da importância em saber o que fazer com as substâncias radioativas, é preciso aprender a manuseá-los conhecendo as características e propriedades dos radionuclídeos por serem portadores de alta complexidade. A negligência pode provocar graves acidentes afetando os seres vivos e todo o ecossistema. Ocorreram acidentes incomuns – Three Mile Island, 1979 –, graves a nível mundial – Chernobyl, 1986 – e conhecido no âmbito nacional – Goiânia, 1987 – que serão abordados.

3.2.1 ACIDENTE EM THREE MILE ISLAND

Exatamente no dia 28 de março de 1979, a usina central da ilha de Rio Susquehanna, conhecida como Three Mile Island (figura 22), próxima à Harrisburg, submeteu-se a uma fusão parcial, ocasionando uma vazão para a atmosfera. A eventualidade foi suscitada por falha operacional adstrito à uma falha mecânica do equipamento. Eis que ocorreu um corte de gastos, que a empresa julgava ser necessária para a obtenção de maiores lucros – adequando-se ao sistema financeiro capitalista – que culminou em cortes nos gastos para a manutenção das máquinas e na renovação das matérias-primas. Além dos problemas mecânicos, a pane elétrica contribuiu para que houvesse paralisação de uma das bombas de água que abastecia o gerador de vapor. Como uma das bombas parou de alimentar o gerador de vapor, foram acionadas as bombas de emergência a fim de executar essa função, mas as bombas de emergência estavam fechadas e ninguém se atentou a isso. O interior do reator esboçou um aquecimento que logo parou, porém, o aquecimento gerou um aumento da pressão, mas o crescimento da pressão foi interrompido por uma válvula que se abriu e permaneceu assim até que as condições internas do reator voltassem ao normal, o que não sucedeu. A válvula permaneceu aberta, ao contrário do que o painel de comando indicava. Á

vista disso, a pressão estava diminuindo e obstinou-se em uma descomunal perda de líquidos refrigerantes (água radioativa) lançados no rio Susquehanna, totalizando cerca de $1,00 \times 10^6$ L, com uma perda de gases e núcleos radioativos que atingiram a atmosfera. (NICACIO, 2014)

No dia seguinte, mediu-se o grau de intensidade radioativa ao redor da usina e, para a surpresa de muitos, a radiação alcançava 16km de raio da usina com potência 8 vezes maior que a considerada fatal à vida. Somente dois dias após acontecer o desastre radioativo, o governador resolveu tomar à frente da situação e pedir para que o Presidente da NRU (Nuclear Regulatory Commission), Joseph Hendrie, agilizasse a evacuação da área começando pelas crianças e mulheres grávidas para oito quilômetros distante da companhia. (NICACIO, 2014)



Figura 21 – Usina Nuclear de Three Mile Island

Fonte: http://explorepahistory.com/kora/files/1/2/1-2-1599-25-ExplorePAHistory-a014s4-a_349.jpg

3.2.2 ACIDENTE EM CHERNOBYL

Cerca de quase 7 anos depois ocorreu o mais grave acidente de todos os tempos, em 26 de abril de 1986, quando, na Ucrânia – até então era União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) -, mais precisamente em Chernobyl, o caos começa a ser instaurado. Foi a pior tragédia radioativa do mundo, provocando uma imensa cortina de gases radioativos atingindo regiões da URSS, Europa Oriental, Escandinávia e Reino Unido, liberando quase 400 vezes mais contaminantes que a bomba disparada em Hiroshima, Japão. (NICACIO, 2014)

Posteriormente a esse ocorrido, houve um imenso alerta no governo soviético que resultou em uma atenção maior na segurança das indústrias nucleares, assim, abrindo mão de ser um comando menos sigiloso. Vários números de mortos e afetados foram divulgados por diversos governos a fim de especular informações sobre a gestão mais secreta da época. Em 2005, de acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), foram 3996 pessoas atingidas diretamente pela radiação emitida através do acidente em Chernobyl. Dentre os atingidos, 56 pessoas já morreram e as outras 3940 morrerão de alguma causa ou efeito dos radionuclídeos com doenças como câncer, mutação celular, paralisia de órgãos, entre outras. **(ESTADÃO, 2005)**

Eles só contaram morte por câncer, mas não consideram as mortes prematuras. Milhares de funcionários tiveram o sistema imunológico enfraquecido e agora estão mais susceptíveis a doenças, o que resultará em mortes prematuras. **(CHUPROVC, 2005)**⁵.

A indústria radioativa de Chernobyl era constituída por quatro reatores, com cada um produzindo, por hora, energia elétrica de 1 Gigawatt (GW) o que corresponde à energia de 1,3 milhões de cavalos ou 2 mil corvettes modelo Z06S e os 4 reatores juntos produziam cerca de 10% da energia consumida pela União Soviética. Uma usina promissora nas mãos de um Estado ligeiramente sagaz com intensões desconhecidas, mas ideais bem definidos e esse foi um dos motivos pelo qual tentaram esconder o acidente do restante do mundo. Quando os efeitos radioativos atingiram os países vizinhos, não teve mais jeito de esconder o que estava acontecendo na grande potência do Oriente, até que o líder majoritário da URSS se pronunciou com um discurso, em tom de frustração nas palavras, ótimo para quem queria o fim da URSS, o que viria a acontecer mais tarde. Chernobyl está atualmente abando nada, como mostra a figura 23. **(NICACIO, 2014)**

Boa tarde, meus camaradas. Todos vocês sabem que houve um inacreditável erro – o acidente na usina nuclear de Chernobyl. Ele afetou duramente o povo soviético, e chocou a comunidade internacional. Pela primeira vez, nós confrontamos a força real da energia nuclear, fora de controle. **(GORBACHEV, 1986)**⁶.

⁵ Entrevista retirada do jornal online Estadão, publicada no ano de 2005, disponível em: <http://ciencia.estadao.com.br/noticias/geral,chernobyl-matou-56-pessoas-afirma-onu,20050906p1139>

⁶ Entrevista retirada do jornal online O Arquivo publicada no ano de 2005, disponível em: <http://www.oarquivo.com.br/temas-polemicos/historia/447-o->



Figura 22 – Instalações abandonadas ao redor de Chernobyl

Fonte: <http://maiscuriosidades.com.br/wp-content/uploads/2016/07/Chernobyl-Hoje-2.jpg>

3.2.3 ACIDENTE EM GOIÂNIA

Para a população brasileira, os acidentes radioativos chocavam, mas nada muito preocupante, por ser em países e regiões relativamente distantes da América do Sul. Até que um ano após o acidente na usina em Chernobyl, em Goiânia, acontece uma inesperada, inimaginável e inédita catástrofe radioativa não causada por indústrias ou usinas, mas sim por um descuido irresponsável ao descartar um aparelho utilizado em sessões de radioterapia simplesmente abandonado em um lixão próximo ao centro de Goiânia. O aparato foi encontrado pelos chamados “catadores de lixo”, foi desmontado e, por acharem ser uma sucata comum, repassaram a outras pessoas contaminando todos que entravam em contato com o instrumento. Esse aparelho usado em pacientes que necessitam de sessões radioterápicas, é composto por uma cápsula de cloreto de céσιο, onde o céσιο é obtido do isótopo de massa igual a 137 u, com meia vida por volta de 30 anos, e com forte fixação em solos ricos em minerais miráceos – ricos em mica. Essa cápsula estava dentro de um recipiente fechado revestido de chumbo e aço com uma janela de irídio, assim, permitindo a passagem da radiação para a área desejada. Milhares de pessoas foram contaminadas entrando em contato direto ou indireto com a radiação – pessoas que ficaram vislumbradas com o pó azul brilhando do cloreto de céσιο o levaram para casa, mostraram aos familiares, incluindo crianças, que contagiaram ou outras dezenas de pessoas e assim desencadeou uma contaminação em

série. Em 29 de janeiro de 1987, o Brasil, mais especificamente a cidade de Goiânia, foi alertada devido à contaminação por núcleos radioativos. O governo brasileiro foi rápido em seu alerta e o jornal foi rápido ao deixar a notícia estampada na primeira página (figura 24), mas não pode evitar o contágio de inúmeros cidadãos inclusive o dono do “lixão”, Devair, e sua esposa Maria Gabriela que morreram por não aguentar os fortes efeitos colaterais provocados à saúde e enterrados com blindagem necessária. (NICACIO, 2014)



Figura 23 – Jornal relatando o acidente de Goiânia

Fonte: http://4.bp.blogspot.com/-hm07-O_qDRk/VQ0-ZRtp-bl/AAAAAAAAACqk/bqaeNaURT-4/s1600/C%C3%A9sio%2B137.JPG

4. A RADIOATIVIDADE E SUA INFLUÊNCIA NO CORPO HUMANO

4.1 RADIAÇÃO E A INTERAÇÃO COM O CORPO HUMANO

Ao ouvir a expressão “radioatividade”, milhões de pessoas ficam aterrorizados por ter uma enorme história negativa com poucos estudos e afirmações positivas acessíveis à população de maneira clara. O que vem à tona, são acidentes, catástrofes, contaminações, cânceres, mortes, devastação do ecossistema, isolamento por milhares de anos dos locais afetados, entre outros. (NOUAILHETAS, 2006)

A interação da vida com os raios ionizantes – são raios dotados de intensidade energética suficientemente maiores que a energia de ligação, dos átomos atingidos, com o próprio núcleo hábeis na retirada de elétrons – fogem da visão humana por suceder em

nível atômico. Quando a radiação transpõe qualquer matéria são capazes de ceder parte da energia a outros elementos que surgir no caminho. Isso ocorre toda vez que uma radiação se encontra com um átomo ou molécula estável. (NOUAILHETAS, 2006)

Conceituando que a composição biológica dos seres vivos (figura 25) seja, basicamente, de átomos de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio – sendo esses os alvos da radioatividade com energia em excesso – como consequência, as estruturas conformacionais são modificadas. Do micro para o macro, não são somente átomos sujeitos às transformações, mas também, moléculas, substâncias, estruturas sub-celulares, células, tecidos, órgãos, sistemas até chegar no indivíduo como um todo havendo muitos casos onde não se pode visualizar essa modificação, por ser interna, como câncer ou uma inibição da atividade de um órgão vital dependendo da faixa etária do sujeito afetado. (NOUAILHETAS, 2006)

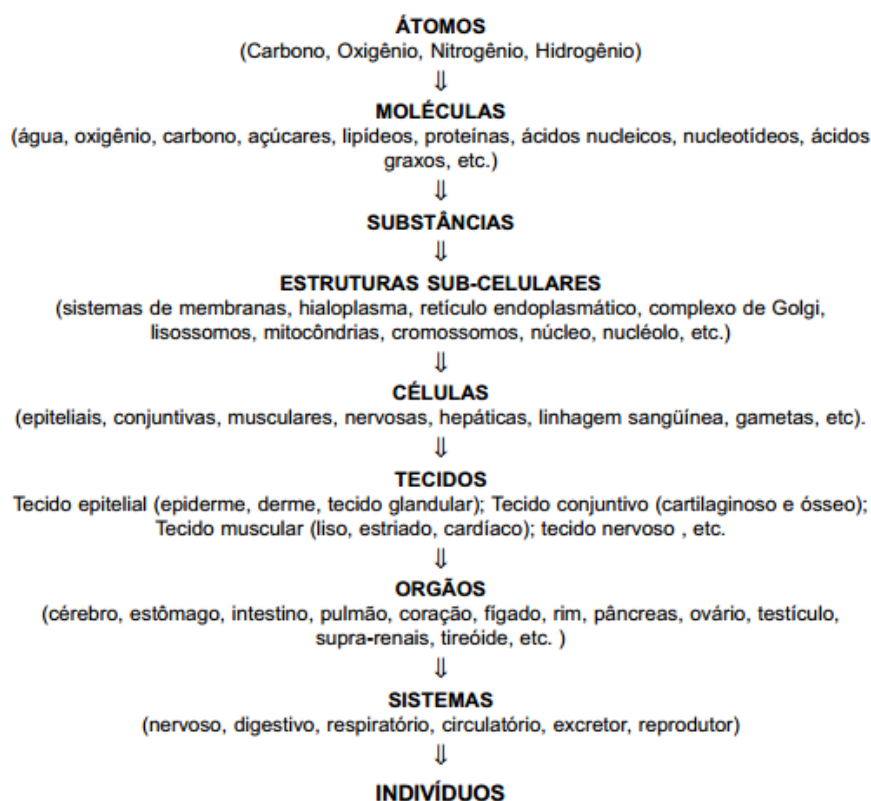


Figura 24 - Organização dos seres humanos

Fonte: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>

Para que a atividade dos raios ionizantes diminua, há duas alternativas: deixar que o tempo se encarregue disso (fator preponderante para ação da meia vida) ou

introduzir, na trajetória dos raios ionizantes átomos ou moléculas carregadas de elétrons livres para que estabilize a radiação, o que não é nenhum um pouco simples de executar. (NOUAILHETAS, 2006)

Com a incumbência de criptografar estruturalmente as substâncias orgânicas constituídas de proteínas, o ácido desoxirribonucléico, DNA (figura 26), vira o alvo de deterioração biológica. Ao estar exposto aos tipos de radiação ocorre quebra das moléculas – perda de material genético – e/ou mutação genética – transformação em partes das informações genéticas estabelecidas pelo DNA na forma de pares genéticos. (NOUAILHETAS, 2006)

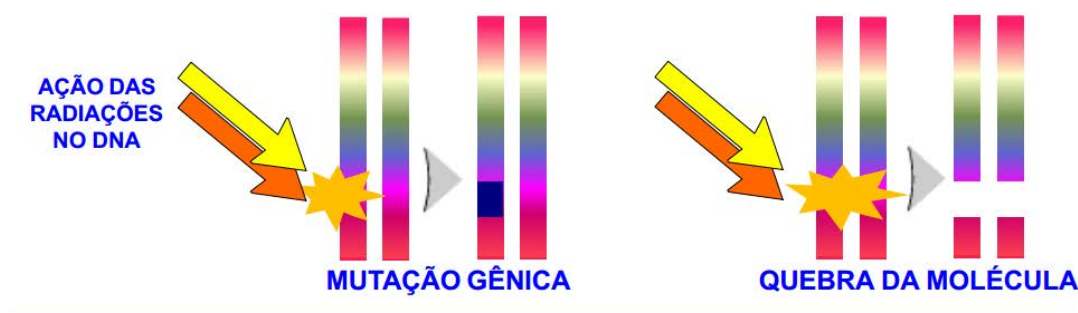


Figura 25 - Processo de mutação genética e quebra molecular

Fonte: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>

Em células de pessoas adultas, a transmutação genética é capaz de estar em tecidos e órgãos sem fazer estragos significativos ou causar mudança genética, deixando o indivíduo com sérios danos à saúde. Já em células-ovo pode inviabilizar o desenvolvimento de algum órgão (como braço, perna, tronco, etc.) e, caso ocorra uma mutação nas células produtoras dos gametas, há grande chance de prejudicar a descendência do contaminado. (NOUAILHETAS, 2006)

As consequências da exposição radioativa dependem, sobretudo, se foi de maneira aguda, se foi em grande quantidade ou em baixa quantidade ou se foi de corpo inteiro ou somente alguma parte do corpo. A dose da taxa de radiação que determina a probabilidade de ter degeneração física (interna/externa) ou não. Porém, toda radiação integrada ao corpo é suficiente para elaborar algum tipo de mudança proporcionando a indução de algumas disfunções. (NOUAILHETAS, 2006)

Uma maneira de medir radiação ionizante absorvida pelo organismo ou qualquer tipo de matéria é o gray que é equivalente a J/kg (1 joule de radiação absorvida por 1 quilograma de matéria). Essa unidade de medida leva o nome do físico Louis Harold Gray pioneiro na busca por estabelecer padrões de medida da radiação que interage, principalmente, com os tecidos de organismos vivos. Anterior ao gray, a unidade de medida adotada era o Röentgen – em homenagem ao cientista citado na história da radioatividade – que equivale a 1 rad ou 0,01 J/kg sendo o gray equivalente a 100 rad. A unidade Röentgen foi substituída pela Conferência Geral de Pesos e Medidas em 1975 – por ter algumas disparidades quando o meio é diferente do ar – dando lugar ao gray (Gy), que não estava vivo para ver um dos maiores resultados de sua pesquisa e todo esforço para propor uma unidade mais precisa de absorção dos raios ionizantes pela matéria. **(NOUAILHETAS, 2006)**

Em radioterapias, onde o paciente é tratado por meio de raios ionizantes, varia de acordo com as doenças detectadas. Para casos de tumor epitelial sólido as doses são de 60 a 80 Gy e em casos de linfomas as doses de tratamento variam de 20 a 40 Gy. As doses precaução em radioterapia estão na faixa de 45 a 60 Gy, fracionadas por seções de não mais que 2 Gy para tumores que envolvam cabeça e tronco. Já os casos mais simples, como o exame raio X abdominal é de 0,7 mGy (miligray) ou uma tomografia computadorizada do abdômen podendo chegar a 8,0 mGy. **(NOUAILHETAS, 2006)**

O motivo de não haver seções com uma intensidade maior que 2Gy de núcleos radioativos absorvida pelos tecidos é explicado pela Tabela 1, que indica desde a quantidade “nociva” ao organismo até a quantidade letal. **(NOUAILHETAS, 2006)**

FORMA	DOSE ABSORVIDA	SINTOMATOLOGIA
Infra-clínica	Inferior a 1 Gy	Ausência de sintomatologia na maioria dos indivíduos.
Reações gerais leves	1-2 Gy	Astenia, náuseas, vômitos (3 a 6 hs. Após a exposição; sedação em 24 hs.)
Hematopoiética leve	2-4 Gy	Função medular atingida: linfopenia, leucopenia trombopenia, anemia; recuperação em 6 meses.
Hematopoiética grave	4-6 Gy	Função medular gravemente atingida.
DL ₅₀	4-4,5 Gy	Morte de 50% dos indivíduos irradiados
Gastro-intestinal	6-7 Gy	Diarréia, vômitos, hemorragias, morte 5 ou 6 dias.
Pulmonar	8-9 Gy	Insuficiência respiratória aguda, coma e morte entre 14 e 36 h.
Cerebral	superior a 10 Gy	Morte em poucas horas por colapso

Tabela 1 - Efeitos de uma radioexposição aguda em adultos de qualquer elemento

Fonte: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>

Ficar com alguma parte do corpo exposto a altas taxas de radiação pode causar danos sérios aos tecidos, esterilidade temporária ou definitiva tanto no homem quanto na mulher, catarata, eritema (dilatação dos vasos capilares cutâneos), radiodermite eritematosa ou exudativa, conjuntivite, entre várias outras. Na Tabela 2, pode-se analisar com uma maior riqueza de detalhes as consequências da infiltração dos raios ionizantes no corpo humano de forma localizada através das doses absorvidas. (NOUAILHETAS, 2006)

DOSE ABSORVIDA (Gy)	SINTOMATOLOGIA
>4	Epilação temporária.
16 a 20	Epilação definitiva.
6 a 12	Radiodermite eritematosa que se manifesta oito dias após a exposição por dor e vermelhidão; freqüentemente substituída por pigmentação acentuada.
16 a 20	Radiodermite exudativa (bolhas, lesões) que regride em 5 ou 6 semanas.
25	Radiodermite e radionecrose que se manifesta por um eritema precoce, dor e exudação; o processo evolui para uma ulceração do tecido.
2	Catarata: quanto maior a dose, maior a velocidade do estabelecimento do processo; conjuntivite aguda de pouca gravidade.
0,3	Esterilidade temporária do homem.
5	Esterilidade definitiva do homem.
3	Esterilidade temporária da mulher.
6-8	Esterilidade definitiva da mulher.

Tabela 2 - Exposições Agudas Localizadas

Fonte: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf>

4.2 AVANÇOS RADIOATIVOS A SERVIÇO DA HUMANIDADE

A medicina possui várias vertentes e, uma delas, é a medicina nuclear que é uma área direcionada em busca de soluções e tratamentos a pacientes com irregularidades metabólicas ou funcionais. Apesar de ser uma vertente medicativa, tem como função primordial localizar, de maneira exata, o sítio da patologia. Antes mesmo de surgir o termo radioterapia, começou sendo denominada curieterapia. (NOUAILHETAS, 2006)

O tratamento empregado na medicina nuclear é por meio de radiofármacos que são elementos químicos ou substâncias que emitem radiação para exames de

investigação por imagem. A técnica, com relação a metodologia, é bem simples: sabe-se por anos de estudos e pesquisas que cada composto químico tem afinidades metabólicas diferentes e, pelas características e afinidades intrínsecas, escolhe-se um fármaco com maior afinidade metabólica com o órgão ou tecido de interesse. Para que não haja uma investigação de forma cirúrgica, colocando a integridade física do paciente em risco, é acoplado ao fármaco um isótopo radioativo e essa anexação dá origem ao radiofármaco. Como o radiofármaco emite radiação ionizante, é possível identifica-lo através de um exame de imagem. **(NOUAILHETAS, 2006)**

A força atômica pode tanto curar quanto matar. Pode derrubar e enriquecer uma região bem como devasta-la. Pode ampliar os horizontes do homem bem como levá-lo de volta às cavernas. **(WEINBERG, 1945)**⁷

O início de um novo ramo da medicina ocorreu na Universidade Paris-Sorbonne em 1891, onde Marie Sklodowska se aventura em uma nova jornada decidida a realizar uma graduação em física. Em 1893 a situação financeira de Marie fica precária e então, totalmente desiludida, resolve desistir de tudo. Porém, Dydynska, muito determinada a ajudá-la, consegue bolsa de estudos para Marie. Em 1894, Marie conhece Pierre Curie em um congresso científico planejado pelo professor Kowalski da Universidade de Friburgo e, um ano mais tarde, se uniram por laços matrimoniais. **(ARAGAO, 2011)**

No ano de 1896, Henry Becquerel indicou a Marie um tema para basear-se no doutorado que planejara iniciar: pesquisas sobre a radiação emitida pelos sais de urânio. Após a morte trágica de Pierre em 1906, Marie herdou algumas posições e cargos importantes do marido, mas nada sem méritos pelos esforços em contribuir com a ciência. Marie Curie recebeu vários prêmios científicos e condecorações que lhe renderam recursos financeiros, porém, ela separava mais da metade desses fundos e doava a laboratórios ou para a construção deles, para pesquisas, para governos investirem na ciência com foco em radioatividade, entre outros. Até que então, em 1914, estoura a Primeira Grande Guerra Mundial. A indústria bélica crescia

⁷ Retirado de um artigo de Eduardo Nicácio, disponível em: <http://www.ecnsoft.net/wp-content/plugins/downloads-manager/upload/Completo%20-%20Energia%20Nuclear%20-%20Passado%20Presente%20e%20Futuro.pdf>

exponencialmente, deixando muitas vezes, a medicina de mãos atadas, menos uma mulher: Marie Sklodowska Curie. (ARAGAO, 2011)

Marie sabia da precariedade dos hospitais franceses em não ter instalações especializadas em raios X. O Exército francês era dotado de pouquíssimos núcleos com equipamentos de emissão de radiação. Até que Marie, mesmo sem ter muito contato com os raios X na prática, toma a iniciativa e monta a primeira viatura radiológica, com recursos da União das Mulheres Francesas. (ARAGAO, 2011)

O avanço de pesquisas voltadas à melhores condições de vida humana, acabara de se tornar um dos maiores inimigos do próprio homem. O maior exemplo disso foi o projeto Manhattan que culminou nas explosões das bombas atômicas nas cidades japonesas: Hiroshima e Nagasaki. O responsável por selecionar cientistas e dirigir o projeto, Julius Oppenheimer, após ver o que o projeto criara ficou perplexo, pois a ideia inicial era obter domínio sobre a energia nuclear (embasado pelos estudos e criação da primeira usina nuclear de Enrico Fermi) para ter armamentos fadado de potência a fim de oferecer segurança ao povo norte-americano. Entretanto, com a explosão nuclear, houve a necessidade de evoluir a medicina por meio da radioterapia. (ARAGAO, 2011)

4.3 MÉTODOS DIAGNÓSTICOS

4.3.1 CARDIOLOGIA E PNEUMOLOGIA

4.3.1.1 ANGIOGRAFIA RADIOISOTÓPICA E CINTILOGRAFIA SINCRONIZADA DAS CÂMARAS CARDÍACAS

O exame de angiografia radioisotópica tem como objetivo principal avaliar o ventrículo esquerdo bem como funcionamento e movimento. É realizado com simultaneidade do eletrocardiograma utilizando o tecnécio-99 para marcação das hemácias e dividido em duas aplicações com intervalos de 20 – 30 minutos de uma aplicação para a outra. Com isso, é possível obter imagens do miocárdio para analisar possíveis disfunções, infartos, doença arterial coronariana, entre outras anormalidades. (ETCHEBEHERE, 2016)

4.3.1.2 PESQUISA DE SHUNT PULMONAR

A palavra *shunt* é originária da língua inglesa que significa desvio. O *shunt* pulmonar é uma condição do organismo sucedida quando o alvéolo fica preenchido por

algum líquido – geralmente esse líquido é o próprio sangue – impossibilitando algumas partes do pulmão de serem ventiladas. O líquido sofre um leve desvio no qual atravessa os tecidos, impossibilitando a função de alguns órgãos do sistema respiratório de maneira eficiente. É uma das principais causas da pneumonia (infecção) e do edema pulmonar (acumulo de líquido). O exame opera com o auxílio de macro agregados de albumina do tecnécio-99 introduzido no organismo através de injeção, que é possível obter imagens do corpo inteiro imediatamente após a aplicação. Através da investigação é possível quantificar a porcentagem de *shunt*. (ETCHEBEHERE, 2016)

4.3.2 GASTROENTEROLOGIA

4.3.2.1 CINTILOGRAFIA DAS GLÂNDULAS SALIVARES

É necessário que o paciente esteja em jejum de duas horas para que não haja interferentes. O exame assessorado pelo pertecnetato (TcO_4^-) onde é aplicado por via venosa, durante 20 minutos. Após passados 75% do tempo de total e sem interromper a aplicação do radiofármaco, administrar 10mL de sumo de limão, sublingual, sem mover a caixa craniana do paciente. Este estudo possibilita a identificação de distúrbios salivares e até mesmo a síndrome de Sjögren – constitui de uma doença autoimune que prejudica as glândulas lacrimais e salivares. Quando age sobre as glândulas salivares, causa sensação de boca seca, a língua fica colada no céu da boca pela manhã, há dificuldade em ingerir líquidos e comer alimentos secos, entre outros sintomas. As imagens do desempenho da cabeça apresentam-se de forma imediata. (ETCHEBEHERE, 2016)

4.3.2.2 PESQUISA DE SANGRAMENTO GASTROINTESTINAL ATIVO

O sangramento gastrointestinal ocorre por meio de diversas causas e com diferentes estágios de gravidade. Os únicos meios de perceber, visivelmente, algum sangramento no sistema digestivo é durante o vômito ou nas fezes. O exame faz uso de enxofre coloidal agregado ao tecnécio-99 por via oral e são realizadas imagens dinâmicas durante uma hora. (ETCHEBEHERE, 2016)

4.3.3 ENDOCRINOLOGIA

4.3.3.1 CINTILOGRAFIA E CAPTAÇÃO DA TIREOIDE

A tireoide é uma glândula localizada na parte anterior do pescoço, logo abaixo do chamado popularmente como “gogó”. Há vários questionamentos em discussões populares sobre sua função no corpo humano. Essa glândula tem funções imprescindíveis como funcionamento do coração, cérebro, fígado e rins. Também interfere no desenvolvimento e crescimento ósseo de crianças e adolescentes, além de contribuir com ciclos menstruais femininos, fertilidade e humor tanto feminino quanto masculino. Para realizar o exame é importante que o paciente evite ingerir alimentos que contenham iodo ou interfira na ação dos radiofármacos para realizar o exame, pertecnetato ou iodo radioativo- ^{131}I . Este método é eficaz para examinar o tireoide e sem nenhum tipo de avariação, hipertireoidismo, hipotireoidismo, mal funcionamento dos hormônios tireoidianos, entre outros envolvendo a glândula tireoide. (ETCHEBEHERE, 2016)

4.3.3.2 CINTILOGRAFIA DAS SUPRARRENAIS

Assim como a tireoide, as suprarrenais são glândulas que estão situadas acima dos rins. São pequenas glândulas com a função de regular o metabolismo de metais alcalinos como sódio e potássio, regular o metabolismo da água, dos carboidratos e das reações químicas relacionadas ao estresse. Sem o bom funcionamento das suprarrenais, o organismo humano fica totalmente vulnerável à contração de doenças como gastrite nervosa e disfunção hormonal. O exame baseia-se em doses pequenas de colesterol agregado ao selênio-75 por meio de injeção aplicada lentamente. A captação de imagens ocorre de 2 até 10 dias após a introdução do radiofármaco no organismo do paciente. (ETCHEBEHERE, 2016)

4.3.4 NEFRO-UROLOGIA

4.3.4.1 CISTOCINTILOGRAFIA DIRETA

A cistocintilografia tem o foco em observar um músculo que funciona como reservatório no nosso corpo: a bexiga. A bexiga é um musculo, com elasticidade mediana, capaz de armazenar nos adultos, em média, 500mL de urina, produzida pelos rins. No exame, utiliza-se uma sonda, introduzida via vesical (pela uretra até chegar à

bexiga) e ,logo após a sonda alcançar a bexiga, é adicionado enxofre coloidal agregado ao tecnécio-99 e imediatamente a bexiga é preenchida com soro fisiológico 0,9% - é preciso que a bexiga esteja totalmente esvaziada antes de realizar o exame. São geradas várias imagens até o total preenchimento e também são geradas durante a micção (ato de urinar). Esta inspeção vesical é recomendada a pacientes com refluxo vesico-ureteral e crianças com descontrolo na micção – o descontrolo na micção está diretamente relacionado com o sistema nervoso, onde pode existir uma possível falha no envio de impulsos elétricos ao cérebro, que é capaz de ser solucionado realizando uma cintilografia de perfusão cerebral. (ETCHEBEHERE, 2016)

4.3.5 SISTEMA NERVOSO CENTRAL

4.3.5.1 CINTILOGRAFIA DE PERFUSÃO CEREBRAL

Quando se trata de realizar qualquer cirurgia, por menor que seja, no cérebro causa muitos incômodos na maioria da população mundial. O cérebro é o centro do comando do corpo humano, assim como o sol é o centro do nosso sistema solar. São os impulsos elétricos, emitidos pelos neurônios, que proporcionam os reflexos, as reações à cada situação de uma maneira diferente e comando nossos músculos e articulações. Mas, se houver alguma pequena disfunção a situação é preocupante. Essa fantástica “máquina” denominada cérebro tem capacidades incríveis que nem mesmo o homem pode mensurar. O estudo do cérebro por meio de cintilografia de perfusão baseia-se no uso de radiofármacos agregados ao tecnécio-99 como o hexametil-propileno-amina-oxima (HMPAO). O paciente necessita de um lugar tranquilo, com os olhos fechados e estável 5 minutos antes de receber a injeção. Após a injeção, permanecer tranquilo e de olhos fechados. As imagens cerebrais começam a ser captadas 30 minutos após a introdução da injeção contendo o material radioativo. Este estudo é indicado para analisar índices ou frequências de epilepsias, doenças psiquiátricas, vasculares e degenerativas, entre outras anormalidades relacionadas ao cérebro. (ETCHEBEHERE, 2016)

4.3.6 MÚSCULO-ESQUELÉTICO

4.3.6.1 CINTILOGRAFIA DA MEDULA ÓSSEA

A medula óssea é um tecido gelatinoso localizado no interior dos ossos capaz de produzir os componentes celulares do sangue como as hemácias, as plaquetas e os leucócitos – é importante frisar que medula óssea não é medula espinhal, que fica na coluna vertebral e tem funções totalmente distintas. O radiofármaco utilizado é o enxofre coloidal anexado ao tecnécio-99 que é inserido no organismo do paciente através de injeção. Aproximadamente 20 minutos depois, as imagens são geradas no sistema computacional. É uma análise destinada a pessoas com infecção ou qualquer tipo de disfunção medular óssea. (ETCHEBEHERE, 2016)

4.3.7 GÁLIO-67 E LEUCÓCITOS MARCADOS

4.3.7.1 CINTILOGRAFIA DO CORPO INTEIRO COM GÁLIO-67

Como vimos ao longo da seção 4, o corpo humano é dotado de alta complexidade formado por elétrons, átomos, células, tecidos e órgãos que são organizados em sistemas com funções específicas delegadas, com funcionamento sincronizado entre si. Com a cintilografia de corpo inteiro é possível localizar qualquer disfunção em algum órgão ou tecido do corpo humano por meio do material radioativo citrato de gálio-67. O radioisótopo é injetado no organismo, mas os estudos começam somente após 48 horas – momento em que são disponibilizadas as imagens do exame. É um diagnóstico indicado a pacientes com suspeitas de linfomas ou qualquer distúrbio na entidade física do corpo. (ETCHEBEHERE, 2016)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os núcleos emissores da radiação são mais complexos e amplos que se imagina. No início, as informações, literaturas e artigos parecem escassos até encontrar os atalhos corretos de pesquisa. A descoberta da radioatividade levou a ciência, juntamente com a Sociedade, a quebrar paradigmas preconceituosos e culturais, entretanto, a coragem e determinação dos cientistas do século XX permitiu a constante evolução de estudos para que pudessem desbravar o invisível e criar ferramentas capazes de servir os seres vivos.

Ao longo da história, houveram inúmeros cientistas que contribuíram de maneira direta ou indireta com o avanço do conhecimento para que a vida da população mundial se tornasse menos desgastante. Pessoas deram a vida em prol de descobertas, tiveram a

saúde comprometida, mas não desistiram de tornar o mundo melhor através do bem mais precioso que ninguém pode roubar: o conhecimento.

Desde o século V a.C., quando Leucipo e Demócrito propuseram uma teoria diferente para a existência de pequenas partículas compondo toda matéria do Universo, até o século XXI o ser humano evoluiu com relação à acessibilidade e facilidade no estilo de vida, porém, ao olhar para os séculos anteriores, percebe-se que o ser humano, no âmbito social, permanece o mesmo. Passam-se os séculos, muda-se os tempos, mas a Sociedade permanece com a mesma alienação e falta de compromisso com a saúde. O corpo humano reflete, por meio de doenças, a negligência com a alimentação, com o sono e com os exercícios físicos.

Para o bem de muitas pessoas, surgiram pesquisadores a fim de melhorar a saúde através de estudos envolvendo o corpo humano, desenvolvendo equipamentos para efetuar tratamentos, criando teorias e analisando o comportamento de células quando submetidas a alguma condição especial. Uma das vertentes utilizada como meio de melhoria de vida humana é a radioatividade. Compostos radioativos não fazem milagres, porém ajudam a erradicar ou ao menos diminuir os danos de doenças e ajudam nos diagnósticos indicando um tratamento específico. A radioatividade, por muitos anos, foi tratada como vilã, porém, a cada dia que passa essa concepção vem sendo mudada.

REFERÊNCIAS

ARAGÃO, Maria José. **História da Química**. Ed. Interciência. - Rio de Janeiro: 2011. 117-178

ARQUIVO, O. Disponível em <http://www.oarquivo.com.br/temas-polemicos/historia/447-o-> Último acesso em 18/01/17 às 23h02

BORZANI, Walter. **Cinética Química: Algumas Observações Relativas à Determinação da Ordem de Uma Reação**. Instituto Mauá de Tecnologia, 1986.

BUENO, Gustavo 1974. **La Metafísica Presocrática**, Pentalfa, Oviedo, V. Introducción.

CARDOSO, E.M. **Radioatividade**. Rio de Janeiro, RJ: CNEN, 2002.

CARDOSO, ELIEZER de M. **Aplicações da Energia Nuclear**. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>.

CNEN, COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **História da Energia Nuclear**. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/historia-da-energia-nuclear.pdf>. Último acesso em 17/01/17 às 21h45

CNEN, COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Licenciamento, Fiscalização e Descomissionamento**. 2016. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/lapoc/tecnica/licfisc.asp>. Último acesso em 18/01/17 às 19h43

CNEN, **Gerência de rejeitos radioativos em Instalações Radiativas**, 1985. 262-269

CNEN, **Gerência de rejeitos radioativos em Instalações Radiativas**, 2014 pgs 6,7,10-30

COMCIENCIA.COM. **Tabela comparativa das fontes de energia**. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/nuclear/nuclear20.htm>.

DANTAS, VERA. **Um novo horizonte para a INB**. *Revista Brasil Nuclear*, ano 14, num. 33. Disponível em: http://www.aben.com.br/html/topico.php?Cd_Revista_Topico=99.

ELETRONUCLEAR. **Panorama da energia nuclear no mundo**. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br/pdf/panorama.pdf>.

ESTADÃO. **Chernobyl matou 56 pessoas, afirma ONU**. 2005
<http://ciencia.estadao.com.br/noticias/geral_chernobyl-matou-56-pessoas-afirma-onu,20050906p1139> Último acesso em 08/01/17

ESTADO DE SÃO PAULO, O. Especiais: **O programa nuclear brasileiro**. Disponível em: <http://www.estadao.com.br>

FELTRE, Ricardo, YOSHINAGA, Setsuo. **Atomística**. Ed. Moderna – São Paulo: 1970. 50-84

FERREIRA, A. B. H. Aurélio século XXI: **o dicionário da Língua Portuguesa**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

Figura 1 -

http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo_legenda/4a962e8edf3fb9a920de372d1c276ac1.jpg último acesso em 13/01/2017

Figura 10 – <https://media1.britannica.com/eb-media/64/20964-004-80386569.jpg>

último acesso em 11/01/17 às 19h25

Figura 11 –

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/45/Henri_Poincar%C3%A9-2.jpg/230px-Henri_Poincar%C3%A9-2.jpg último acesso em 11/01/17 às 19h29

Figura 12 -

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a3/Henri_Becquerel.jpg/200px-Henri_Becquerel.jpg último acesso em 12/01/17 às 17h35

Figura 13 -

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6c/Pierre_and_Marie_Curie.jpg/1280px-Pierre_and_Marie_Curie.jpg último acesso em 12/01/17 às 17h39

Figura 14 - <http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2010/01/experiencia-rutherford.jpg> último acesso em 16/03/17 às 14h01

Figura 15 – FELTRE, Ricardo, YOSHINAGA, Setsuo. Atomística. Ed. Moderna – São Paulo: 1970. p.50

Figura 16 – FELTRE, Ricardo, YOSHINAGA, Setsuo. Atomística. Ed. Moderna – São Paulo: 1970. p.51

Figura 17 – http://maisunifra.com.br/wp-content/uploads/img_1.png último acesso em 16/03/17 às 17h32

Figura 18 – http://maisunifra.com.br/wp-content/uploads/img_2.png último acesso em 16/03/17 às 17h35

Figura 19 – <http://quimicasemsegredos.com/images/Teoria/radio/radio-eq4.jpg> último acesso em 16/03/17 às 17h37

Figura 2 - http://www.omundodaquimica.com.br/academica/imagens/fq_gregos.jpg
último acesso em 06/01/17 às 00h08

Figura 20 – <http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01001/radio.pdf> último acesso em 16/03/17 às 17h49

Figura 21 – http://explorepahistory.com/kora/files/1/2/1-2-1599-25-ExplorePAHistory-a0l4s4-a_349.jpg último acesso em 23/01/2017 às 19h34

Figura 22 – <http://maiscuriosidades.com.br/wp-content/uploads/2016/07/Chernobyl-Hoje-2.jpg> último acesso em 23/01/2017 às 19h36

Figura 23 – http://4.bp.blogspot.com/-hm07-O_qDRk/VQ0-ZRtp-bI/AAAAAAAAACqk/bqaeNaURT-4/s1600/C%C3%A9sio%2B137.JPG último acesso em 23/01/2017 às 19h39

Figura 24 - <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf> página 8 último acesso em 23/01/2017 às 19h41

Figura 25 - <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf> página 26 último acesso em 23/01/2017 às 20h16

Figura 3 -
http://a5.files.biography.com/image/upload/c_fit,cs_srgb,dpr_1.0,h_1200,q_80,w_1200/MTE1ODA00TcxNTk5OTU1NDY5.jpg último acesso em 06/01/17 às 01h38

Figura 4 – http://reich-chemistry.wikispaces.com/file/view/Avogadro_Amedeo.jpg/98105437/Avogadro_Amedeo.jpg último acesso em 06/01/17 às 01h44

Figura 5 – http://faradayclubaward.org/wp-content/uploads/2012/08/Michael_Faraday2.jpg último acesso em 06/01/17 às 01h47

Figura 6 –
http://a5.files.biography.com/image/upload/c_fit,cs_srgb,dpr_1.0,h_1200,q_80,w_1200/MTE5NTU2MzE2MzEzMDYwODc1.jpg último acesso em 06/01/17 às 01h38

Figura 7 –
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c1/J.J_Thomson.jpg/200px-J.J_Thomson.jpg último acesso em 06/01/17 às 19h43

Figura 8 –

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/be/Robert_Andrews_Millikan_1920s.jpg/200px-Robert_Andrews_Millikan_1920s.jpg último acesso em 11/01/17 às 19h22

Figura 9 -

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/28/Milikan_exp.png/390px-Milikan_exp.png último acesso em 16/03/17 às 13h25

GONÇALVES, ODAIR D. **Programa Nuclear Brasileiro: passado, presente e futuro**. Disponível em:

https://sistema.planalto.gov.br/siseventos/viienee/exec/arquivos/ANAISVIIENEE_INTERNET/03CIENCIAETECNOLOGIA/MESA35PROGRAMASNACIONAIS/MESA35A_PRESENTACOES/OdairNuclear.pdf.

Gráfico 1 – <http://s5.static.brasilecola.uol.com.br/img/2013/04/decaimento-do-tritio.jpg> último acesso em 16/03/17 às 17h51

MARTINS, Roberto de Andrade 1990. **Como Becquerel não descobriu a radioatividade**, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, vol. 7.

NICACIO, Eduardo Cláudio. **Energia Nuclear: Passado, presente e futuro**. 2014. Disponível em <<http://www.ecnsoft.net/wp-content/plugins/downloads-manager/upload/Completo%20-%20Energia%20Nuclear%20-%20Passado%20Presente%20e%20Futuro.pdf>> Último acesso em 15/01/17 às 16h09

NOUAILHETAS, Yannick (2006) - **Radiações ionizantes e a vida**. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro, 2006.

Tabela 1 - <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf> página 26 último acesso em 23/01/2017 às 21h22

Tabela 2 - <http://www.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/educativo/radiacoes-ionizantes.pdf> página 26 último acesso em 23/01/2017 às 21h30