



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC**  
**ESPECIALIZAÇÃO EM ENSINO DE QUÍMICA**

**ROSÂNGELA DE ALMEIDA BRITO**

**IMPRESSÕES SOBRE O PROCESSO DE ENSINO-  
APRENDIZAGEM DE RADIOATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO**

**Trabalho de Conclusão de Curso**

**SANTO ANDRÉ - SP**

**2021**

**ROSÂNGELA DE ALMEIDA BRITO**

**IMPRESSÕES SOBRE O PROCESSO DE ENSINO-  
APRENDIZAGEM DE RADIOATIVIDADE NO ENSINO MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
conclusão do Curso de Especialização em  
Ensino de Química da UFABC.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula de  
Mattos Arêas Dau

**SANTO ANDRÉ - SP**

**2021**

Dedico este trabalho a Deus e ao meu pai (em memória), que são os responsáveis por me dar forças para continuar nas batalhas desta vida e a persistir nos meus objetivos

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família e filhas por terem paciência comigo em ter que me dedicar tantas horas para realizar esse trabalho e a Universidade Federal do ABC por me dar essa oportunidade em aprofundar meus ensinamentos em radioatividade um assunto da química que tanto aprecio e tenho curiosidade e que foi de grande experiência em descobrir um pouco mais o seu uso em âmbitos industriais, econômicos e educacionais e me receber de forma tão acolhedora. Com certeza me senti satisfeita em conhecer melhor esse amplo lado da química. Com esse trabalho espero poder conceder mais conhecimento aos meus alunos

## RESUMO

O presente trabalho vai apresentar o princípio de radioatividade, os tipos de radiações, tragédias radioativas, utilidade da mesma na medicina, agricultura, alimentos, como fonte de energia e analisar os seus benefícios e malefícios como um todo para o ser humano .

**Palavras-chave:** Radioatividade, Acidentes radioativos, Isótopos radioativos, Partículas radioativas, Usos da Radioatividade.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Aspectos históricos: como a radioatividade se estabeleceu como área de conhecimento .....</b>	<b>9</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 Objetivo Específico.....</b>	<b>13</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>14</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>15</b>
<b>5.1. As partículas mais importantes e suas interações com a matéria ...</b>	<b>14</b>
<b>5.1.1. Partículas Alfa.....</b>	<b>14</b>
<b>5.1.2. Partículas Beta .....</b>	<b>15</b>
<b>5.1.3. Radiação Gama .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1.4. Raio-X e Raios Gama .....</b>	<b>18</b>
<b>5.2. Acidentes envolvendo Radiações .....</b>	<b>19</b>
<b>5.2.1. Chernobyl.....</b>	<b>19</b>
<b>5.2.2. Césio-137 .....</b>	<b>20</b>
<b>5.2.3. Kyshtyn .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2.4. Fukoshima.....</b>	<b>22</b>
<b>5.3. Bombas Atômicas em Hiroshima e Nagasaki .....</b>	<b>22</b>
<b>5.4. As aplicações da radioatividade .....</b>	<b>24</b>
<b>5.4.1. Datação de fósseis e objetos antigos.....</b>	<b>25</b>
<b>5.4.2. Aplicações na Medicina.....</b>	<b>25</b>
<b>5.4.3. Radioisótopos na Agricultura .....</b>	<b>26</b>
<b>5.4.4. Radura: Alimentos irradiados .....</b>	<b>27</b>
<b>5.4.5. Aplicações nas Indústrias .....</b>	<b>27</b>

<b>5.4.6. Produção de Energia-Usinas Nucleares.....</b>	<b>28</b>
<b>6. CONCLUSÕES. ....</b>	<b>29</b>
<b>7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A radioatividade é uma propriedade de certos materiais, que se refere a núcleos atômicos instáveis. Enquanto as reações químicas tradicionais se relacionam a processos que envolvem a eletrosfera, as transformações radioativas são processos essencialmente nucleares. Estes núcleos podem desagregar com perda de partículas ou energia a fim de decaírem a isótopos mais estáveis na natureza. Muitos cientistas, do século XIX e início do século XX, contribuíram para estabelecer o referencial teórico da área, por meio das descobertas dos raios-X, de sua penetração nos materiais, da emissão de partículas alfa, beta ou de raios gama. Nos séculos XX e XXI, as pesquisas voltaram-se para o isolamento (ou detecção) de isótopos radioativos, de partículas, como o nêutron e o pósitron, e, do uso seguro de insumos radioativos no setor produtivo, em processos como esterilização de água e alimentos, produção de energia, entre outros.

A escolha do tema residiu na modernidade dos conceitos e aplicações de insumos radioativos. Os usos destes materiais, em adição aos citados anteriormente, podem ser vistos na medicina, nas medidas para previsão do tempo, no controle de qualidade de peças metalúrgicas, na produção de energia nuclear, na datação de fósseis, dentre muitos outros. Além disso, o interesse pelas radiações tem aumentado muito durante os últimos anos, não só por causa da utilização para benefício da sociedade, mas também pelos desdobramentos ruins que o mau uso destes produtos pode trazer, como bombas ou acidentes em usinas de produção de energia. Inclusive em termos didáticos, a radioatividade constitui um tema norteador do conceito de energia no ensino médio e de propriedades dos materiais, fazendo parte dos grandes temas de Física Moderna, incluídos no curriculum do ensino médio nos últimos anos (RESQUETTI, 2013).

Pretende-se, neste trabalho, discutir a propriedade da radioatividade e os diversos tipos de emissões, mostrar o uso corrente da radiação e possíveis efeitos ruins, provenientes de má aplicação ou mau controle dos insumos radioativos.

O trabalho foi realizado por meio de busca bibliográfica em sites de publicações científicas e blogs de divulgação. Através da compilação de informações fornecidas em artigos, monografias, teses, dissertações e outras fontes, buscou-se traçar o panorama geral do uso e riscos da radioatividade na sociedade moderna, além de entender a natureza da propriedade de materiais radioativos.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Aspectos históricos: como a radioatividade se estabeleceu como área de conhecimento

Tudo começou, em 1895, com a descoberta experimental dos raios-X, pelo então professor de Física da Universidade de Wurzburg na Alemanha, Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923). Já se havia feito uma previsão teórica da existência de raios-X por Hermann Von Helmholtz (1821-1894), que faleceu sem saber que a sua teoria era adequada para descrever o fenômeno real.

Após a descoberta do elétron por meio de deflexão eletrostática em tubos de raios catódicos, por Joseph John Thomson (1856-1940), cientistas da época passaram a estudar as descargas elétricas ocorridas neste aparato. Este foi o caso de Röntgen. Ele observou uma fraca luminescência, ao aplicar diferença de potencial de algumas dezenas de quilovolts entre os eletrodos do tubo.

Apagando a luz para observar melhor, ficou surpreso ao notar que uma placa de vidro, coberta de platino cianeto de bário, colocada a uma certa distância de um metro, também emitia luminescência! O fenômeno ainda era observado, mesmo cobrindo com um papel preto o tubo ou colocando um livro entre o tubo e a placa de vidro. Depois disso, ele teve a ideia de substituir o livro por um pedaço de madeira e, depois, por uma folha de alumínio. Os raios emitidos atravessaram tudo, inclusive a sua mão. Röntgen concluiu, dessa forma, que o tubo emitia raios muito potentes, mas ainda desconhecidos, que poderiam atravessar o corpo humano e sensibilizar filmes fotográficos. Com esse experimento, foi possível fazer observações fantásticas sobre o interior do corpo, resultando em grandes avanços na medicina. Após 45 dias da descoberta dos raios X, Röntgen tirou a primeira radiografia da mão da sua esposa (ARRUDA, 1996), expondo-a durante 15 minutos. Ele até suspeitou que esses raios pudessem ter efeitos danosos, porém, considerando o grande potencial da descoberta, ele foi laureado com o Prêmio Nobel de Física, em 1901.

Antoine Henri Becquerel (1852-1908), professor de física em Paris, fez um experimento muito importante nessa área, após retomar as pesquisas, realizadas pelo seu pai, com substâncias fosforescentes que absorviam luz, para depois reemitirem. Becquerel colocou um pouco de sal de urânio (sulfato de urânio e potássio) sobre uma

placa fotográfica, embrulhada em um papel preto e expôs à luz solar durante vários dias. Quando o filme foi revelado, ficou claramente sensibilizado, com marcas contendo manchas escuras. Ele prosseguiu em suas pesquisas, até que em um dia de céu nublado, ele não obteve os mesmos resultados. Becquerel então guardou o sal de urânio sobre um filme fotográfico, dentro de uma gaveta, com ausência de luz. Mais tarde, ao revelar a chapa, observou que as manchas estavam um pouco mais escuras do que quando o conjunto havia sido exposto ao sol. Então, ele concluiu que os efeitos inesperados só poderiam ter ocorrido devido aos raios emanados espontaneamente pelo sal de urânio. Nos dois anos seguintes, Becquerel continuou seus estudos sobre a emissão de radiação do urânio, demonstrando que elas não diminuía com o tempo e que tinham propriedades parecidas com as dos raios-X.

Apaixonada pela pesquisa científica, a jovem Marya Salomea Sklodowska (1867-1934), chegou a Paris, em novembro de 1891, para cursar licenciatura em Matemática na Sorbonne, onde conheceu o seu marido Pierre Curie (1859-1906). Pierre já era um cientista com uma certa reputação, por haver descoberto o fenômeno da piezoelectricidade, juntamente com o seu irmão Jacques. Após o casamento, Marya Sklodowska passou a ser conhecida como Marie Curie. Curie iniciou a sua tese de doutorado, cujo tema era o estudo da natureza dos raios de Becquerel (MARTINS, 2003). À época, a cientista já era mãe de sua primeira filha, Irene Joliot-Curie (1897-1956), que também seria laureada com um Prêmio Nobel. No começo das suas pesquisas, Marie percebeu que o urânio não seria o único responsável pelos raios de Becquerel e que poderiam existir outros elementos com a mesma propriedade. Logo, ela descobriu que o tório também emitia raios espontaneamente, e, com intensidade análoga ao urânio, o que proveu evidências robustas para a sua teoria.

Reconhecendo a importância das suas descobertas, Curie continuou investigando a propriedade radiativa de outros materiais, como a Pechblenda. Este mineral de urânio emitia uma radiação muito alta, não explicável somente pelo conteúdo de urânio existente nas amostras. Interessado nas pesquisas de sua esposa, Pierre se associou a sua esposa nesta linha de pesquisa e, uma das descobertas do casal foi a presença de um elemento, ainda não caracterizado, na Pechblenda, que era 300 vezes mais ativo do que o urânio (TOSI, 2011). No artigo que descreveu a descoberta, o casal Curie deu o nome de polônio ao recém-descoberto elemento, em homenagem ao país de origem de Marie. Trabalhando em

um galpão com condições extremamente precárias, realizando separações químicas no processamento de toneladas de minério, o casal anunciou a descoberta de outro elemento, o rádio, que era espontaneamente luminoso e um milhão de vezes mais radioativo do que o urânio. O termo radioatividade significava ativado por uma radiação penetrante, que preenche todos os espaços ou que emite uma radiação por elementos específicos. Assim, em 1903, Becquerel e o casal Curie receberam o Prêmio Nobel de Física por essas importantes descobertas. Infelizmente, devido ao grande assédio da imprensa sobre o casal, Pierre Curie fugindo do assédio, morreu atropelado por uma carroça 3 anos depois, deixando Marie com 2 filhas. Mesmo recebendo diversas honrarias pelo mundo durante toda a sua vida, inclusive o segundo Prêmio Nobel, agora em Química (1911) pelo isolamento do elemento rádio, importante elemento utilizado na terapia do câncer, Marie Curie nunca foi aceita como membro da Academia de Ciências de Paris, por ser mulher.

O físico neozelandês, naturalizado britânico, Ernest Rutherford (1871-1937), iniciou o desenvolvimento de sua pesquisa científica, com base nos estudos sobre os raios de Becquerel (1898), na Universidade de McGill, cuja contratação foi recomendada por John Thomson. Um ano após se juntar ao quadro desta instituição, as pesquisas nesta área o levaram a caracterizar dois tipos de radiações: radiação alfa( $\alpha$ ), absorvida facilmente, com alto poder de ionização, tendo a mesma estrutura do núcleo do átomo Hélio; e, a beta ( $\beta$ ), mais penetrante. Ambas eram desviadas por campos magnéticos, mas em direções opostas; hoje as duas formas de radiação são conhecidas como partículas alfa e beta (XAVIER et al., 2007). Um ano mais tarde, o físico e químico francês Paul Ulrich Villard (1860-1934) identificou a radiação gama ( $\gamma$ ), mas foi Rutherford quem estabeleceu que esse tipo de radiação é uma onda eletromagnética, mais energética e mais penetrante que os raios-X.

Todos os estudos de radiações utilizadas na medicina, até 1934, eram referentes aos raios-X, produzidos por tubos de raios-X, enquanto as radiações alfa, beta e gama, provinham de radionuclídeos naturais. A primeira emissão de radiação artificial, produzida por isótopos radioativos criados em laboratório, ocorreu em 1934 por meio do trabalho de Irene Curie, filha de Marie Curie, e de seu esposo Frédéric Joliot. Estes isótopos foram obtidos pelo bombardeio de elementos não radioativos com partículas alfa produzidas e aceleradas em máquinas, o que rendeu a láurea do Prêmio Nobel de Química, em 1935. Atualmente, esses radionuclídeos são utilizados

em terapia de doenças, conservação de alimentos, agropecuária, esterilização de materiais cirúrgicos e médicos, produção de novas variedades de plantas, metalúrgicas, no controle de qualidade, dentre outros.

No começo da história da radiação, pouco se sabia sobre os danos aos seres humanos e os seus efeitos tardios. Atualmente, sabe-se que a radiação causa danos ao ser humano e, qualquer uso que se faça dela, deve ocorrer com critérios de proteção e com responsabilidade. Cientistas preparados tiveram queimaduras na pele, dermatite ou morreram precocemente com leucemia, ou ainda outro tipo de câncer, devido à exposição à radiação. Dentre eles, se encontram Marie e Irene Curie que morreram de leucemia, devido à exposição direta à radiação do polônio, do rádio e de outros isótopos radioativos. Para se ter uma ideia do nível de radiação à qual a família Curie estava exposta, os cadernos de laboratório de Marie Curie estão armazenados em caixas de chumbo, para proteger, da radiação, os visitantes da Biblioteca Nacional de Paris. Serão necessários ainda, aproximadamente 1600 anos até que metade do rádio, contido nestas anotações, tenha decaído (TOSI, 2011). O Comitê Nacional de Proteção Radiológica dos Estados Unidos recomenda o depósito máximo de 0,1 microgramas de rádio, em trabalhadores expostos a esse tipo de radiação, depois de várias pesquisas e evidências clínicas.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo deste trabalho é pesquisar os diversos aspectos relacionados à propriedade da radioatividade e discutir os benefícios e as desvantagens do uso de insumos radioativos na sociedade moderna.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos deste trabalho é discutir o uso cotidiano da radioatividade e analisar as suas vantagens e desvantagem para o ser humano

### **4 METODOLOGIA**

O trabalho baseou-se em informações obtidas por meio de um levantamento bibliográfico sobre o tema. A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados Scielo e Google Acadêmico, com as seguintes palavras-chave: radioatividade, acidentes radioativos, isótopos radioativos, partículas radioativas e uso da radioatividade . Foram buscados artigos nestas bases, mas também blogs científicos e de divulgação científica, como a Sociedade Brasileira para o progresso da Ciência .

Procurou-se selecionar fontes bibliográficas com aderência aos subtemas de usos e riscos da radioatividade, além de aspectos da propriedade em si.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

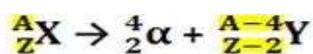
### 5.1. As partículas mais importantes e suas interações com a matéria

#### 5.1.1. Partículas alfa

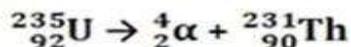
Estudos apontaram que os elementos radioativos são aqueles que possuem o núcleo muito instável e emitem radiações. As três emissões nucleares naturais são a alfa, a beta e a gama (XAVIER et al, 2007). Estes tipos de radiação e os raios-X são classificados como radiações ionizantes, porque sua incidência resulta na ejeção de um elétron na espécie química atingida pela radiação (CARDOSO, 2020).

A radiação alfa é emitida pelo núcleo com uma velocidade média de, aproximadamente, 20 000 km/s, o que representa 5% da velocidade da luz (FIOCRUZ WEBSITE, 2021). As partículas alfa possuem dois prótons e dois nêutrons, lembrando o núcleo do átomo de hélio. Estas partículas são emitidas de um núcleo de elementos pesados como o tório, urânio, polônio e rádio, cujo decaimento radioativo faz surgir um novo elemento, processo chamado de transmutação (CARDOSO, 2020). Essa partícula é muito pesada, devido às suas massas e possui uma trajetória quase retilínea em um dado meio. Quando um átomo emite uma partícula deste tipo, o seu número atômico (Z) diminui duas unidades e seu número de massa diminui quatro unidades, conforme mostrado na figura 1:

Figura 1: Esquema de decaimento radioativo para um isótopo de interesse.



**Exemplo:**



Fonte: Manual da Química

Por possuir um pequeno poder de penetração, a partícula apenas atinge a superfície da pele humana e pode ser barrada por uma simples folha de papel ou chapa de alumínio de 0,06 mm. Porém, a sua inalação ou ingestão podem trazer

graves consequências ao ser humano, como câncer (INCA WEBSITE, 2021), por ter alta densidade de ionização e por vir acompanhada de outras radiações.

### 5.1.2. Partículas beta

Rutherford, ao observar a deflexão sofrida por raios sob o efeito de um campo elétrico, inferiu que este tipo de radiação deveria ser composto por partículas com massa. Porém, pelo menor desvio que estas partículas sofriam, em comparação com as alfa, ficou claro que a massa das partículas beta deveria ser menor que a da alfa.

Quando comparou os desvios sofridos pelas partículas beta com os desvios que os elétrons realizavam em um campo eletromagnético, os resultados eram iguais : as partículas beta eram na realidade elétrons.

De forma conceitualizada, as partículas betas são elétrons (beta menos: um nêutron que se converte em um próton, com a emissão de um elétron) ou pósitrons (beta mais: próton convertido em um nêutron com a emissão de um pósitron) igual aos elétrons , com exceção do sinal da carga num processo descrito como decaimento beta. A representação dessa partícula é dada por  ${}^0_{-1}\beta$  ou  $\beta^-$ . Observa-se que a emissão beta apresenta número de massa (A) igual a zero, pois os elétrons não fazem parte do núcleo do átomo.(BRASIL ESCOLA,2021)

A emissão de uma partícula beta ( ${}^0_{-1}\beta$ ) é o produto da reorganização do núcleo instável do átomo radioativo de modo a adquirir estabilidade. Para que isso ocorra, é necessário que um nêutron se decomponha originando três novas partículas: **um próton, um elétron (partícula  $\beta$ ) e um neutrino**. O antineutrino e o elétron são emitidos; o próton permanece no núcleo.

Compreende-se então que , quando um átomo emite uma partícula beta, ele se transforma em um novo elemento com o mesmo número de massa (porque o nêutron que havia antes foi “substituído” pelo próton), mas o seu número atômico (Z = prótons no núcleo) aumenta uma unidade.

A figura 2 mostra um exemplo de decaimento radioativo beta para o carbono 14.

Fonte: Descomplica

Constituída por elétrons emitidos à grande velocidade ( comparada a 95% da velocidade da luz) pelos núcleos dos átomos radioativos, a radiação do tipo  $\beta$  (Beta) também foi observada

Como a massa da radiação  $\beta$  é a mesma de um elétron, ( 1840 vezes menor que a de um próton ou de um nêutron) , ela também foi comparada com a massa da radiação alfa ( $\alpha$ ) que emite dois prótons e dois nêutrons que é 7360 vezes maior que a das partículas  $\beta$ . Explicado o motivo pela qual as partículas  $\alpha$  sofrerem um desvio menor que as partículas  $\beta$ ;elas são mais pesadas, conforme as conclusões de Rutherford em seu experimento.

Com poder de penetração médio, sendo de 50 a 100 vezes mais penetrante que as partículas alfa e com maior densidade de ionização e maior alcance, partículas  $\beta$  podem atravessar uma folha de papel, mas são paradas por uma chapa de chumbo de apenas 2 mm ou de alumínio de 2 cm. Pode causar queimaduras se inseridas no corpo humano, podendo penetrar até 2 cm mais são barradas antes de atingirem os órgãos.

### **5.1.3. Radiação gama**

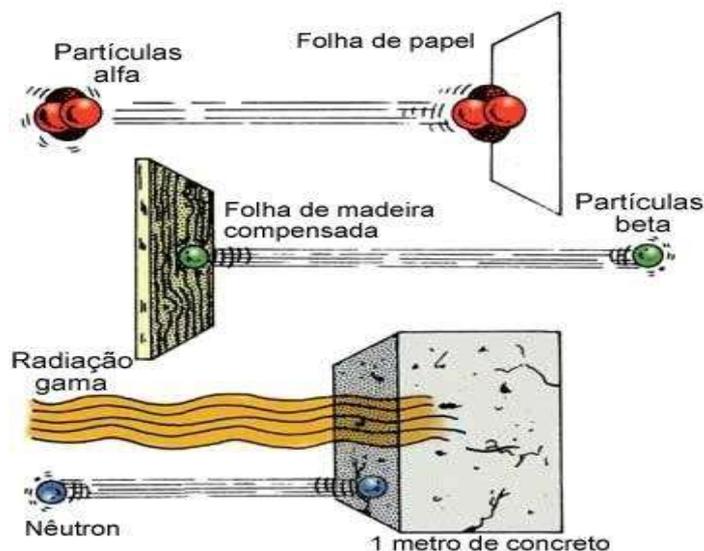
Pesquisas sobre a radiação gama , concluíram que esse tipo de partícula é um tipo de radiação eletromagnética produzida geralmente por elementos radioativos. Se comparada com os outros dois tipos de radiação ,alfa e beta, a gama é a mais perigosa.

“As explosões cósmicas de raios gama são os fenômenos que emitem a maior quantidade de energia por unidade de tempo no universo. Uma única explosão, com uma duração típica de alguns

segundos, emite tanta energia em raios gama quanto o Sol vai emitir durante toda a sua vida de 10 bilhões de anos, em todas as faixas do espectro eletromagnético; isso é comparável a transformar inteiramente a massa do Sol em energia - de acordo com a famosa fórmula  $E = mc^2$  de Einstein - em algumas dezenas de segundos, ou emitir durante esse período de tempo a mesma energia que a nossa Galáxia inteira emite em 100 anos. O único evento cósmico mais energético do que uma explosão dessas foi a própria explosão inicial do universo, o Big Bang(JOAO BRAGA,2013)

Partículas gamas possui alta energia e comprimento de onda curto,é capaz de transpassar profundamente na matéria. Isso ocorre pelo fato desta partícula não possuir carga elétrica, não sofre intervenção dos elétrons e prótons dos átomos dos materiais que atravessa. As partículas gama podem atravessar um corpo humano e causar danos irreversíveis. Quando penetra através da matéria, essa radiação interage com as moléculas, resultando em íons e radicais livres que são prejudiciais às células vivas. Algumas células se mostram mais vulneráveis , como as do tecido linfático, as da medula, as das membranas mucosas intestinais, as das gônadas e as do cristalino dos olhos. Materiais maçudos como chumbo, concretos, o aço e o ferro podem ser usados para imunizar a penetração dessa partícula.

Figura 3: Representação esquemática do poder de penetração das radiações alfa, beta e gama.



Fonte: Mundo da Educação

Elas são lançadas pelo núcleo instantaneamente após a saída das partículas  $\alpha$  ou  $\beta$ . Por esse motivo, mesmo um elemento emissor de partículas alfa pode ser altamente perigoso, pois também emite raios  $\gamma$ .

Devido a essas características, os raios gama são utilizados em larga escala pela indústria para esterilizar equipamentos e produtos alimentícios.

A emissão gama manifesta uma grande importância na medicina. O Cobalto-60, por exemplo, é um emissor de radiação gama e por esse motivo é usado no tratamento do câncer. O tratamento direciona os raios gama para o tumor, causando sua destruição.

#### 5.1.4. Raios-X e raios gama

Raios gama, do tipo X, luz visível e ondas de rádio são todos tipos (formas) de radiação eletromagnética. Esse tipo de radiação, pode ser descrita em termos de um fluxo de fótons, que são partículas sem massa, cada uma viajando em um padrão ondulado e circulando à velocidade da luz. Utilizados de forma comum no nosso dia a dia, os raios-X, são usados na segurança do aeroporto, na estereofotogrametria Roentgen, cristalografia, astronomia, aplicações industriais, fluorescência, etc. O tipo de radiação gama, são pouco utilizados em nosso dia a dia por serem considerados muito perigosos, pois matam as células vivas. Ainda assim, eles podem e são usados por seres humanos de maneira diferente. Eles são usados para irradiação, medicina nuclear, alterando as pedras semi-preciosas, esterilizando equipamentos médicos, pasteurizando certos alimentos e especiarias, avaliando a espessura de certos metais, medindo a densidade do solo em locais de construção, etc. (EMICO OKUMO, USP)

Uma exposição baixa dos raios gama pode atacar células do corpo, enquanto que uma exposição a altas doses pode desorganizar as células e retroceder o processo de cicatrização. Os radionuclídeos emissores de partículas gama são as fontes de radiação mais utilizadas. A atmosfera da Terra é suficientemente espessa para não permitir que raios-X e quase nenhum raio gama passem do espaço exterior para nós na superfície da Terra. Estudos observaram as diferenças entre estes dois tipos de radiação eletromagnética. A principal diferença é a fonte: os raios-X são enviados pelos elétrons fora do núcleo e os raios gama são mandados pelo próprio núcleo excitado.

Muito mais prejudiciais para a saúde humana do que os raios-X, são os raios de radiação do tipo gama por serem altamente penetrantes e energética. Exposição prolongada a seres vivos, eles podem provocar o câncer. Como o comprimento de onda é muito pequeno, eles têm o poder de penetrar através de qualquer intervalo, ainda que seja um espaço subatômico. Os mais prejudiciais são os que caem na janela de 3 e 10 MeV.

Assiduamente, os raios gama são gerados juntamente com outros tipos de radiação como alfa e beta. No entanto, este não é o caso dos raios x.

Tanto os raios-X quanto os raios gama não tornam radioativos os materiais ou seres humanos irradiados. Porém, se uma pessoa ingerir, inalar ou sofrer contaminação com radionuclídeos, aí sim essa pessoa se torna uma fonte de emissão. Neste sentido, vale lembrar do acidente de Goiânia, em 1987, onde uma pessoa levou a fonte em um ônibus até o centro de Vigilância Sanitária, contaminando o ônibus, o centro e as pessoas e os objetos que ela havia tocado.

## **5.2. Acidentes envolvendo radiações**

A energia nuclear equivale a 17% da geração de energia elétrica mundial. Mesmo não emitindo gases responsáveis pelo efeito estufa, o problema se encontra nos resíduos de alta radioatividade e na capacidade de acidente nas usinas que podem ser avassalador.

### **5.2.1. Chernobyl**

O acidente de Chernobyl, na realidade, poluiu todo o solo europeu, pois a direção do vento, a quantidade de chuvas locais dentre outros fatores, levaram a radiação a causa de tal efeito. O mais desastroso efeito nuclear da história ocorreu, na região da Ucrânia, em 26 de abril, quando um reator da usina demonstrou problemas técnicos, emitindo uma nuvem radioativa, com 70 toneladas de urânio e 900 de grafite, na atmosfera. O desastre foi o responsável pela morte de mais de 2,4 milhões de pessoas nos locais mais próximos e atingiu o nível 7, o mais grave da

Escala Internacional de Acidentes Nucleares (INES) .Depois da explosão do reator, muitos funcionários foram enviados ao local, para impedir as chamas. Com a falta de equipamentos adequados, trabalhadores perderam a suas vidas em combate e ficaram conhecidos como “liquidadores”. A resolução do problema foi edificar uma estrutura de concreto, aço e chumbo, para encobrir a área da explosão. Como a obra foi feita nas pressas, ela apresentou rachaduras graves, tanto que o local até hoje é perigoso, pelo risco de radiação. Para entender melhor o tamanho do desastre, o volume de partículas radioativas em Chernobyl foi 400 vezes maior do que o lançado pela bomba atômica de Hiroshima, lançada no Japão, após a Segunda Guerra.

A cidade programada para ser a casa dos trabalhadores da usina, Prypiat, teve seus moradores mortos ou evacuados. Grávidas de até quatro meses, tiveram bebês com malformação genética, crianças e adultos adquiriram leucemia, animais, rios e florestas foram contaminados e várias anomalias genéticas foram apresentadas na região, que envolve antigos países do bloco soviético, como Bielorrússia, Ucrânia e Rússia. Mesmo nos dias atuais, 35 anos após a tragédia, foi feita a edificação de uma nova estrutura, para diminuir a ameaça de radioatividade na região. Nos dias de hoje, cidade de Prypiat é uma cidade deserta.

### **5.2.2. Césio – 137 (1987)**

Uma pessoa levou a fonte radioativa em um ônibus, contaminando pessoas e objetos tocados por ela ocasionando o acidente radioativo de nível 5 segundo a INES que ocorreu em Goiânia, depois que dois catadores de papel, Roberto e Wagner, acharam um aparelho de radioterapia e o carregaram para um ferro-velho. Depois de desmontarem o aparelho, os homens acharam uma cápsula de chumbo, com cloreto de césio dentro do seu interior. A cor azul brilhante de 20 g de cloreto de césio na escuridão daquela noite, chamou a atenção de Devair Ferreira, o dono do ferro-velho, que levou o “pó azul” consigo e repartiu o material para familiares e vizinhos. Após o toque com o césio, náuseas, vômitos e diarreia acometeram a sobrinha de Devair que foi a primeira a morrer, seis dias após engolir o material. No total, onze pessoas vieram a óbito e mais de 600 foram infectadas. A exposição à radiação atingiu 100 mil habitantes daquela região. Aves, porcos, cães e coelhos expostos à radiação foram sacrificados. Toda a vida vegetal do local foi removida e a terra, revolvida. O processo

de descontaminação demorou mais de dois meses e gerou mais de 6 mil toneladas de resíduos contaminados.

O ferro-velho onde estava o equipamento hospitalar foi desativado, praticamente todos os estabelecimentos do comércio local foram fechados e os produtos, dos poucos locais que sobraram, foram rejeitados. Além disso, as atividades de turismo foram descontinuadas, os carros de Goiânia sofreram apedrejamento em SP e muitos moradores da região se mudaram. Os resíduos radioativos resultantes da descontaminação da região – mais de 13 mil toneladas – foram armazenados em um depósito em Abadia de Goiânia, especialmente construído para este fim.

### **5.2.3. Kyshtym (Ozyorsk - 1957)**

Com o intuito de ser os pioneiros na corrida nuclear da União Soviética, na usina de Mayak ocorreu uma falha no sistema de refrigeração do compartimento de armazenamento de resíduos nucleares. A falha causou uma enorme explosão em um tanque com 80 toneladas de material radioativo. A enxurrada de gás contaminou a região em um raio de 800 km. Naquela época a cidade de Ozyorsk, onde aconteceu o desastre, não constava no mapa soviético e o fato ficou marcado como “o acidente de Kyshtym”. Na média de dez mil pessoas foram obrigadas a deixar as suas habitações, sem explicação do governo. Foram arquivadas pelo menos 200 óbitos por causa da exposição à radiação. Houve pouco interesse em estudos nos primeiros anos, e as consequências da radioatividade nos habitantes e no meio ambiente não eram bem conhecidas. Em consequência disso, não foram consideradas as medidas de segurança da usina, que ainda enviavam constantemente partículas radioativas.

Estudos mostraram claramente o fato de que, sobretudo entre 1948 e 1956, a água poluída com materiais radioativos foi lançada nos lagos em volta da usina nuclear Mayak e também diretamente no Rio Tech, que imediatamente se juntava ao Rio Obi.

Sem ter ideia do tamanho do ocorrido, os habitantes de Ozersk continuavam a utilizar a água para uso do dia a dia. Isso provocou seríssimos problemas de saúde para as pessoas e comentava-se da "doença do rio". Estimavam que até 124.000 moradores da região tenham recebido doses significativas de radiação.

#### **5.2.4. Fukushima (2011)**

Em 2004, tragédias duplas, de tamanhos monumentais, aconteceram no mundo. Um poderoso terremoto no Oceano Índico foi seguido de um tsunami avassalador, que deixou mais de 260 mil pessoas mortas em 14 países.

Depois de sete anos, um ocorrido semelhante teria não apenas dois, mas três situações. Um acidente triplo castigou o Japão, quando um terremoto tão forte quanto o do Oceano Índico, mas desta vez no Pacífico, causou um tsunami também destruidor, contra o qual as sólidas defesas japonesas não tiveram se quer chances de se defender.

Com o mar colérico, o mesmo acarretou um acidente nuclear na usina de Fukushima, 260 quilômetros ao norte de Tóquio. Acredita-se que mais de 18 mil pessoas foram mortas pelo tsunami, e o acidente em Fukushima motivou a saída de 160 mil pessoas que habitavam nas imediações.

Foi a maior tragédia enfrentada pelo Japão desde as bombas atômicas lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki, em 1945. Registrada a cerca de 250 km ao norte de Tóquio, a usina nuclear Daiichi, em Fukushima, passou por danos em três de seus seis reatores, em 11 de março de 2011, após um terremoto de 9 graus na escala Richter ter alcançado o país. Superioridades japonesas confirmaram que os níveis de radiação emitidas foram altos, muito preocupantes. O acidente foi classificado com grau 5 na Escala Internacional de Acidentes Nucleares (INES). Depois do ocorrido, cientistas japoneses tiveram a intenção de realizar uma mini-fusão nuclear, para compreender melhor o acidente de 2011 e de se programar de forma acertada em caso de novas catástrofes .

#### **5.3. Bombas atômicas em Hiroshima e Nagasaki**

Com a relutância japonesa em se entregar aos americanos, esses, escolheram por aproveitar a bomba atômica na cidade do Japão em Hiroshima. A investida ocorreu no dia 6 de agosto de 1945 e foi executado de um bombardeiro B-29 chamado Enola HYPERLINK . O avião era pilotado por Paul Tibbets, que decidiu pela ponte Aioi como alvo central.

A bomba explodiu a mais ou menos 580 metros de altura e ocasionou um pequeno sol, que alastrou um clarão pela cidade e uma onda de energia e calor que foi responsável pela aniquilamento quase completo da cidade de Hiroshima, ainda provocando a destruição de 80 mil vítimas imediatas.

O rastro de destruição da bomba lançada em Hiroshima pode ser visto em uma foto da época (figura 4).

Figura 4: Destruição causada pela bomba atômica na cidade de Hiroshima.



Fonte: BBC News Brasil

10 anos de Fukushima: o dia em que o Japão foi atingido por terremoto, tsunami e acidente nuclear - BBC News Brasil

Muitas pessoas foram gaseificadas imediatamente com o calor de mais de três mil graus ; outras, mais afastadas do local de lançamento, foram transformadas e cinzas. Além disso, enormes incêndios foram registrados por toda a cidade. Mesmo com toda essa destruição, parte da chefia do governo japonês rejeitavam aceitar que os Estados Unidos guardavam outra bomba atômica e acreditavam em uma resiliência final do povo japonês, o que concluiria na aniquilação americana.

“O general Yoshijiro Umezu [...] acreditava fanaticamente em uma última grande resistência na qual o povo do Japão infligiria perdas inaceitáveis nas forças invasoras em terra, e as repeliria; ou morreria na derrota e levaria os norte-americanos junto para o inferno”(CHARLES PELLEGRINO,2015).

A insistente negativa japonesa em se entregar , provocou o lançamento da segunda bomba nuclear dos Estados Unidos . A bomba era para ter sido lançada na cidade japonesa de Kokura, mais , a condição climática da cidade fez com que os pilotos seguissem para Nagasaki. A bomba de Nagasaki era 50% mais potente que a de Hiroshima e uma parte da cidade foi protegida pelos morros que possuía. Mesmo assim , a bomba em Nagasaki provocou a morte de cerca de 40 mil pessoas imediatamente. Os que restaram, precisaram conviver com graves queimaduras espalhadas pelo corpo .No dia seguinte, vários sobreviventes morreram pelo contato coma radiação e outros adquiriram doenças provocadas por ela pelo restante de suas vidas.

As pessoas atingidas sofreu rejeição pelo restante da sociedade japonesa e, por anos, lutaram para que os líderes japoneses pagassem pelas despesas médicas.

O uso das bombas fez com que o Japão se entregassem em 14 de agosto de 1945.

## **5.4. As aplicações da radioatividade**

### **5.4.1. Datação de fósseis e objetos antigos**

A partir de uma técnica desenvolvida em 1946, por Willard Libby, utilizando o decaimento do Carbono-14 radioativo, cujo tempo de meia vida é de 5.600 anos (CARDOSO, 2020), foi possível determinar a idade de fósseis e objetos antigos, considerando que todos os seres orgânicos apresentam esse elemento. Através de cálculos termodinâmicos, é possível calcular o período total do objeto antigo. Segundo Cardoso, 2020:

Medindo-se a proporção de C-14 que ainda existe nesses materiais é possível saber a “idade” deles. Foi assim, por exemplo, que se determinou a idade dos Pergaminhos do Mar Morto. (CARDOSO, 2020, p. 47).

### 5.4.2. Aplicações na Medicina

Marcadores com radiofármacos podem identificar o estado de saúde de vários órgãos, por meio de exames de imagens produzidos por radioisótopos. Exames como tomografia, cintilografia, entre outros de medicina nuclear, são capazes de detectar, com antecedência, anormalidades na estrutura de um órgão (INCA, 2021). Pouco tempo depois, esses radiofármacos perdem a sua atividade e são eliminados pelo organismo.

Mesmo conhecendo os efeitos nocivos que a radiação pode causar em seres vivos, ela é uma forte aliada no tratamento de doenças, como o câncer. As células tumorais são mais sensíveis a radiação do que as células saudáveis. Com o uso de dosagens adequadas, a radioterapia - derivada do elemento rádio - é utilizada em tratamentos de câncer, onde a exposição a radiação destrói as células transformadas.

Problemas, como alterações na tireoide, também podem ser detectados com o uso do radiofármaco iodo-131, um baixo emissor gama que tem tempo de meia vida bem curto e é facilmente eliminado pelo organismo. Para diagnosticar alterações como as da tireoide, o paciente ingere uma pequena quantidade de iodeto de sódio marcado, que rapidamente é absorvido e distribuído pelas glândulas. Com esse mapeamento, é possível compará-lo a padrões, que mostram ou não, possíveis disfunções.

O uso de radiotraçador tálio-201 é utilizado na detecção de obstruções de artérias coronárias. Quando o isótopo é injetado na corrente sanguínea, ele se aloja no músculo saudável do coração e emite radiação gama, que resulta na geração de imagens que mostram possíveis lesões nos tecidos cardíacos. O seu uso também tem sido um grande avanço na medicina.

O uso de radiofármacos na medicina está compilado na figura 5.

Figura 5: Principais radioisótopos utilizados na medicina e suas aplicações.

## Principais radioisótopos usados na medicina



Isótopo	Principais usos
$^3\text{H}$ <b>Tritio</b> (hidrogênio-3)	Determinação do conteúdo de água no corpo
$^{11}\text{C}$ <b>Carbono-11</b>	Varredura do cérebro com tomografia de emissão positrônica transversa (PET) para traçar o caminho da glucose
$^{14}\text{C}$ <b>Carbono-14</b>	Ensaio de radioimunidade.
$^{24}\text{Na}$ <b>Sódio-24</b>	Deteção de constrictões e obstruções do sistema circulatório.
$^{32}\text{P}$ <b>Fósforo-32</b>	Deteção de tumores oculares, câncer de pele, ou tumores pós-cirúrgicos.
$^{51}\text{Cr}$ <b>Cromo-51</b>	Diagnóstico de albumina, tamanho e forma da bacia, disordens gastrointestinais.
$^{59}\text{Fe}$ <b>Ferro-59</b>	Mal função das juntas ósseas, diagnóstico de anemias
$^{60}\text{Co}$ <b>Cobalto-60</b>	Tratamento do câncer.
$^{67}\text{Ga}$ <b>Gálio-67</b>	Varredura do corpo inteiro para tumores.
$^{75}\text{Se}$ <b>Selênio-75</b>	Varredura do pâncreas
$^{81\text{m}}\text{Kr}$ <b>Criptônio-81m</b>	Varredura da ventilação no pulmão.
$^{85}\text{Sr}$ <b>Estrôncio-85</b>	Varredura dos ossos para doenças, incluindo câncer.
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ <b>Tecnécio-99m</b>	Um dos mais utilizados: diagnóstico do cérebro, ossos, fígado, rins, músculos e varredura de todo o corpo.
$^{131}\text{I}$ <b>Iodo-131</b>	Diagnóstico de mal funcionamento da glândula tireóide, tratamento do hipertireoidismo e câncer tireoidal.
$^{197}\text{Hg}$ <b>Mercúrio-197</b>	Varredura dos rins.

Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/3720979/>

### 5.4.3. Radioisótopos na agricultura

Com o interesse de encurtar o tempo de plantação e colheita, estudos sobre cada tipo de elementos químicos, presentes em determinados vegetais (figura 6), ajudam a traçar informações que permitem conhecer o metabolismo da planta e seus diferentes nutrientes. Este monitoramento favorece o melhor crescimento dessas plantas. Por meio de traçadores radioativos, as plantas absorvem o radioisótopo, sendo em seguida ser radiografadas. Insetos, que podem comprometer certas plantações, também podem ser mapeados e estudados por essa técnica, a fim de reduzir a quantidade de defensivos agrícolas, como meio assessório no controle de pragas. Os insetos são alimentados com insumos radioativos, podendo ser observados quanto ao seu raio de ação e à identificação de seus predadores. São

esses bons resultados que despertam o desenvolvimento de novas tecnologias mundiais.

Figura 6: Ilustração de detecção de isótopos radioativos em vegetais.



Fonte: Mundo educação

#### 5.4.4. Radura: Alimentos irradiados

Esse eficiente processo de desinfecção e preservação de plantas e alimentos tem sido utilizado com frequência no Brasil e em outros países, com a autorização da ANVISA. Essa técnica consiste em submeter o alimento, já embalado, à ação controlada de substâncias radioativas com rápido decaimento. A técnica visa eliminar bactérias, fungos, bolores, larvas ou ovos de insetos, sem deixar resíduos, aumentando a vida útil dos alimentos e diminuindo o preço, além de favorecer a estocagem. Vale ressaltar que alimentos expostos à radiação devem ser devidamente rotulados e não se tornam radioativos no processo. O símbolo de insumos que sofreram radura está mostrado na figura 7. Entretanto, faz-se necessária a fiscalização desta técnica para que esse tratamento não se torne abusivo a ponto de “camuflar” as péssimas condições de higiene dos alimentos.

#### 5.4.5. Aplicações nas indústrias

A Gamagrafia Industrial é uma técnica utilizada nas indústrias petroquímicas, químicas e mecânicas, que consiste em utilizar radioisótopos como o Cobalto-60, Césio-137 e o Irídio-192, para avaliar a qualidade da solda, espessuras, trincas ou possíveis defeitos que não se percebe a olho nu (figura 8). São colocadas fontes

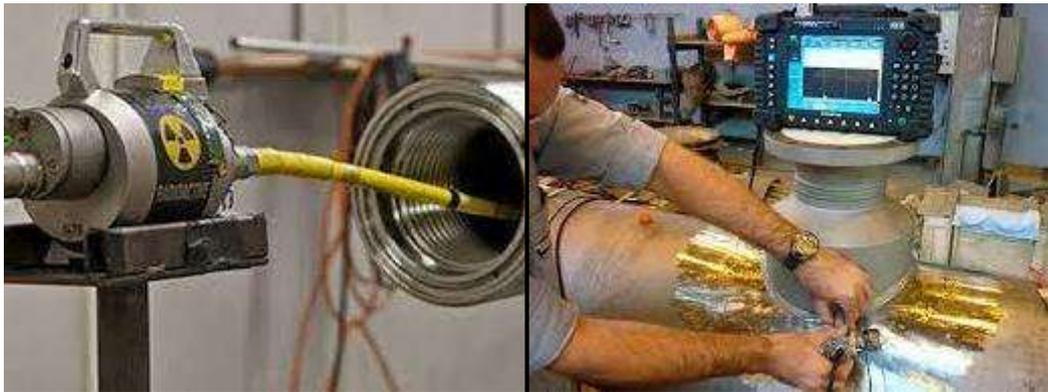
radioativas, de radiação gama, de um lado do material e um sensor de radiação do outro lado. Indústrias farmacêuticas também utilizam essa técnica para realizar a esterilização de materiais cirúrgicos, seringas, luvas e produtos farmacêuticos em geral.

Figura 7: Símbolo de identificação da Radura: Tecnologia em Radiologia



Fonte: Wikipédia

Figura 8: Fotos da Radiologia Industrial – Gamagrafia



Fonte: [www.jometto.com.br](http://www.jometto.com.br)

#### 5.4.6. Produção de energia – usinas nucleares

Com o aumento crescente da população, a produção de energia elétrica, de uma fonte de energia limpa, se fez necessário. A energia nuclear é uma alternativa disponível para abastecer a grande demanda energética da sociedade moderna. É um processo que transforma energia nuclear de um reator, por meio de fissão nuclear. Neste processo, um núcleo de um átomo se divide em duas ou mais partículas, liberando muita energia em forma de calor. Este calor eleva a temperatura da água, que, por sua vez, aciona uma turbina, gerando energia mecânica, que, por fim, se transforma em energia elétrica (figura 9). O Brasil (em Angra dos Reis) domina essa

tecnologia, que, no nosso caso, utiliza o urânio como combustível nuclear. Para evitar vazamento radioativo, são utilizadas várias medidas de controle, como carcaças de aço e estruturas do edifício do reator revestidos de concreto de um metro de espessura.

Um dos problemas do uso de reatores nucleares consiste nos possíveis acidentes que podem ocorrer, além dos resíduos radioativos que são produzidos em larga escala. Os resíduos radioativos passam por tratamentos que tem como meta obter materiais minimamente radioativos, que possam ser depositados em locais seguros para armazenamento de resíduos nucleares. Porém, encontrar locais apropriados para os refugos. Tem sido um grande desafio para as agências responsáveis pelo lixo nuclear.

Com base em tudo que foi discutido ao longo do trabalho, é possível inferir que a radioatividade não é um problema, mas como se faz uso dela. Infelizmente, muitas vezes, o que seria potencialmente vantajoso em um cenário de escassez de fontes energéticas, pode levar a acidentes terríveis, como os relatados no trabalho. Ainda há muito a se aprender desta área e pelas dimensões de danos que um acidente pode causar, manipular insumos radioativos deve estar nas mãos somente de um pequeno grupo de pessoas. Neste sentido, segundo Patrício et al. (2012):

A Radioatividade favoreceu significadamente a história da humanidade, principalmente com sua enorme contribuição em diversas áreas nesse século, representando uma ferramenta extremamente útil na medicina, química, arqueologia, alimentícia, industrial e entre outras. Infelizmente, o mau uso desta ferramenta na construção de bombas atômicas tem ameaçado até hoje a população mundial. As consequências de desastres envolvendo radioatividade são, sem dúvida, catastróficas, gerando mortes, danos físicos e psicológicos a milhares de pessoas, além de gerar impactos ambientais que alteram o equilíbrio ecológico.

O desenvolvimento desse potencial deve estar em mãos seguras de um grupo seletivo que utilize a radiação e a energia nuclear de forma responsável, e não colocando em risco a humanidade. (PATRÍCIO, 2012, p. 260).

## **6 CONCLUSÕES**

Por fim grandes são os efeitos da radioatividade no organismos humanos que podem provocar reações que geram os mais diversos tipos de doença, que vai de uma queimadura a uma mutação genética (câncer por exemplo) quando expostos a mesma sem monitoramento. Acidentes radioativos como Chernobyl, Goiânia com o

Cesio-137, também geraram graves problemas ambientais e populacionais quando não fiscalizado de forma precisa. Além disso o uso da radioatividade serviu como protagonista na Segunda Guerra mundial com as bombas em Hiroshima e Nagasaki que demonstraram a destruição avassaladora que pode provocar com o uso desse mal feito

Por outro lado a descoberta do Raio X, desde o início século XX, promoveram a utilização da radiação de forma controlada, avançando e muito a medicina em diagnósticos precisos como: tomografias, radiofármacos cintilografias que ajudaram em tratamentos como câncer, tireoides dentre outros.

Indústrias, alimentos, geração de energia limpa e agricultura, também foram beneficiados pelo o uso da mesma principalmente no controle de qualidade de seus produtos e como fonte de energia.

Portanto a radiação é uma vertente forte e de grande investimento benéfico quando monitorada e manuseada de maneira consciente

.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, W. O. Wilhelm Conrad Röntgen – 100 anos da descoberta dos raios-X. **Arq. Neuropsiquiatr**, vol. 54, n. 3, p. 525-531, 1996.

CARDOSO, E. M. **Apostila educativa – A energia nuclear**. Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN-MCTI, 3ª ed., 2020. Disponível no link: [https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/apostila\\_educativa\\_aplicacoes\\_energia-nuclear-e-suas-aplicacoes.pdf](https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/centro-de-informacoes-nucleares/material-didatico-1/apostila_educativa_aplicacoes_energia-nuclear-e-suas-aplicacoes.pdf). Acesso em 01/11/2021.

FIOCRUZ WEBSITE – **Radiação**. Disponível no link: [http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab\\_virtual/radiacao.html](http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/lab_virtual/radiacao.html). Acesso em: 19/11/2021.

INCA WEBSITE – **Radiações ionizantes**. Disponível no link: <https://www.inca.gov.br/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/radiacoes/radiacoes-ionizantes>. Acesso em 15/10/2021.

MARTINS, R. A. As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos. **Revista da SBHC**, vol. 1, p. 29-41, 2003.

PATRÍCIO, M. C. M.; SILVA, V. M. A. E.; FILHO, A. A. M. A radioatividade e suas utilidades. **Polêmica**, [S.l.], vol. 11, n. 2, p. 252-260, 2012. ISSN 1676-0727. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/3097/2218>>. Acesso em: 21 nov. 2021. doi:<https://doi.org/10.12957/polemica.2012.3097>.

RESQUETTI, S. O. **Uma sequência didática para o ensino de radioatividade no nível médio, com enfoque na História e Filosofia da Ciência e no movimento CTS**. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2013.

TOSI, L. Matéria no Blog CHC (Ciência Hoje das Crianças), publicada em 18/03/2011 – **A ciência de Marie Curie**. Disponível no link: <http://chc.org.br/acervo/a-ciencia-de-marie-curie/>. Acesso em 20/11/2021.

XAVIER, A. M.; LIMA, A. G.; VIGNA, C. R. M.; VERBI, F. M.; BORTOLETO, G. G.; GORAIEB, K.; COLLINS, C. H.; BUENO, M. I. M. S. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, vol. 30, n. 1, p. 83-91, 2007.