



INSTITUTO FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO CAMPUS NITERÓI

Introdução à radiação

Orientador:
Thiago Correa Lacerda

Bolsistas:
Davi Asher da Cunha
Carlos Alberto F S Junior

Contents

1	O que é radiação?	1
2	Da onde surgiu?	1
3	Tipos de radiação e elementos radioativos	2
3.1	Quais são os elementos radioativos?	2
3.2	Tipos de emissões radioativas	2
3.3	Dcaimento radioativo	3
3.4	Colocando em números...	5
4	Fontes de radiação	6
4.1	Fontes naturais	6
4.2	Fontes artificiais	6
5	Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante	7
5.1	Efeitos Determinísticos	7
5.2	Efeitos Estocásticos	7
5.3	Efeitos Hereditários ou Genéticos	8
5.4	Efeitos Somáticos	8
6	Radiação é <i>realmente</i> perigoso?	9
6.1	Acidente Radioativo de Goiânia	10
6.2	Desastre nuclear de Chernobyl	12
7	Apêndice I: Unidades de medida	14
8	Apêndice II: Fotos do Acidente em Goiânia	15

1 O que é radiação?

A radiação é caracterizada pela **emissão e propagação de energia** na forma de partículas e ondas eletromagnéticas seja em um meio material, seja no vácuo. A radiação é emitida através de fontes naturais como o Sol, bem como através de fontes artificiais, como por exemplo, os equipamentos usados na radioterapia.

É importante destacar que, diferindo do senso comum, a radiação não é algo necessariamente perigoso e prejudicial. Todos os dias estamos expostos à radiação de diversas fontes, como por exemplo, raios-x e ondas de rádio AM e FM. Em suma, quando utilizada de maneira correta e controlada a radiação *não* é danosa aos seres vivos.

2 Da onde surgiu?

A radiação teve origem no Big Bang, a grande explosão que deu início ao universo a cerca de 14 milhões de anos. Porém, faz pouco mais de um século que esse fenômeno foi descoberto e passou a ser devidamente estudado pela humanidade.

O estudo da radiação teve início com as descobertas do físico Wilhelm K. Röntgen, em 1895, no tocante aos **Raios-x**. Na época, muito se especulava sobre os tais raios-x. Os céticos¹ diziam que eram raios precursores da morte, por outro lado, os mais *entusiasmados* os chamavam de raios milagrosos.

Cerca de um ano depois, o cientista francês Henri Becquerel estudou propriedades dos sais de urânio, por meio de um experimento que ocorreu da seguinte forma: Becquerel colocou numa gaveta chapas fotográficas juntamente com sais de urânio. Ao revelar as chapas, notou que tinham sido afetadas por um tipo de radiação. que foi atribuída ao urânio.

Mais tarde, o casal Pierre e Marie Curie, provavelmente os mais influentes no tocante ao estudo da radiação, aprofundaram os estudos da radiação feitos por Becquerel. O casal descobriu que, à medida que o urânio emitia radiação, se transformava em outros elementos.

¹Diga-se de passagem, a esposa do físico se encaixou no primeiro grupo de pessoas, provavelmente devido ao fato de ter sido usada como cobaia por seu marido.

3 Tipos de radiação e elementos radioativos

Até então tratamos o conceito de radiação como algo abstrato, sem elucidar suas características físicas e seu comportamento. Resolveremos esses problemas nessa seção.

3.1 Quais são os elementos radioativos?

Todos os elementos(e seus respectivos isótopos) com mais de 83 prótons são considerados radioativos, pois possuem núcleos instáveis que *decaem* com o tempo, isto é, emitem radiação a partir de seu núcleo atômico. Porém, ter número atômico maior ou igual a 84 não é condição necessária para um elemento ser considerado radioativo, tendo em vista que outros elementos com menos de 84 prótons podem ser radioativos, como por exemplo o trítio(H_1^3), que possui número atômico igual a 1.

Dessa maneira, com a emissão de radiação, os elementos primordiais vão se transformando em outros elementos, até alcançar um elemento estável, que não emite radiação. O urânio-238, por exemplo, decai até se transformar em chumbo-206, que por sua vez, possui 82 prótons e é estável.

3.2 Tipos de emissões radioativas

Já sabemos que os elementos com um número atômico maior ou igual a 84 são radioativos, isto é, decaem e emitem radiação com o passar do tempo. Mas o que é *exatamente* essa radiação? Existe 3 tipos de radiação, a radiação **alfa**, **beta** e **gama**.

A radiação **alfa** (α_2^4) é um núcleo de hélio, sendo composta de 2 prótons e 2 nêutrons.

A radiação **beta** (β_1^0) pode ser dividida em 2 tipos a β^- e a β^+ . A primeira é composta apenas por 1 elétron e a segunda, por 1 pósitron (elétron com carga positiva). Ambas são geradas a partir da transformação de um nêutron em um próton, um elétron (resp. pósitron) e em um neutrino (resp. anti neutrino).

Já a radiação **gama** (γ_0^0) é uma onda eletromagnética, isenta de carga elétrica.

É importante dizer que todos a radiação não se propaga 'livremente' nos meios materiais. A radiação alfa pode ser 'parada' por uma folha de papel;

a beta consegue atravessar uma folha de papel de alumínio, entretanto é parada por pedaços de madeira. Já a radiação gama é a mais penetrante, sendo detida por uma grossa parede de concreto, por exemplo. Tornando-a muitas vezes nociva à saúde humana.

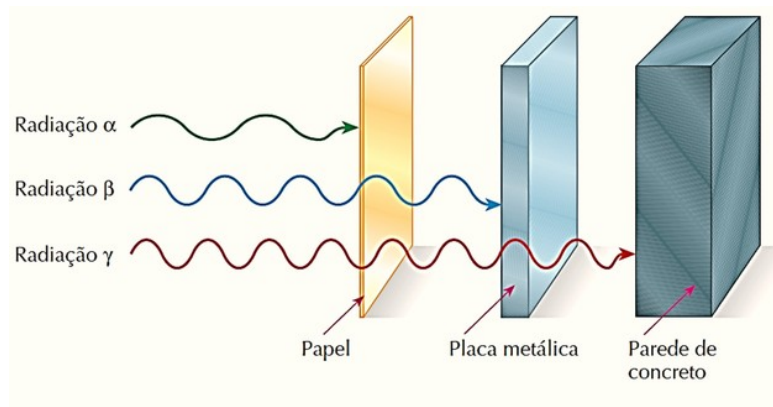


Figure 1: Tipos de radiação e blindagem comumente utilizadas.

3.3 Decaimento radioativo

Agora sabemos quais elementos são radioativos, isto é, emitem radiação e também sabemos as características e classes da radiação. Mas como essa emissão ocorre? As palavras-chave para a resposta são **decaimento radioativo** e **meia-vida**.

O período de meia-vida é o tempo necessário para que metade de uma amostra radioativa se desintegre (emitindo radiação). Para exemplificar, veremos o seguinte exemplo genérico: O átomo X possui P prótons, ao emitir radiação alfa e beta, se transforma em um novo elemento Y com, por exemplo, P-2 prótons, caracterizando a emissão de partículas alfa. O decaimento do urânio-238 elucidado na Figura 1 mostra bem como tal decaimento acontece.

O tempo de meia-vida de um elemento pode variar de segundos até centenas de milhões de anos. O polônio-211, por exemplo, possui uma meia vida de 0,52 segundos, enquanto o urânio-235 possui uma meia-vida de 7.10^8 anos.

Dessa maneira, podemos afirmar que quanto menor o período de meia-vida, mais radioativo é o isótopo em questão, pois mais radiação será emitida num período curto de tempo.

É importante salientar que o processo de decaimento radioativo e o fenômeno de meia-vida são observados quando tratamos de *consideráveis* amostras de isótopos radioativos, visto que é um fenômeno **probabilístico**. Logo observar uma pequena amostra não é conclusivo ².

A **Lei do Decaimento Radioativo**, como o próprio nome diz, rege esse comportamento estatístico das grandes amostras de radioisótopos. A lei afirma que probabilidade por unidade de tempo que um núcleo decair é uma constante. Essa constante é chamada de constante de decaimento(λ), o decaimento radioativo de certo número de átomos (massa) é exponencial no tempo. Em símbolos temos: $N = N_0.e^{-\lambda t}$, onde N_0 é o número inicial de núcleos na amostra.

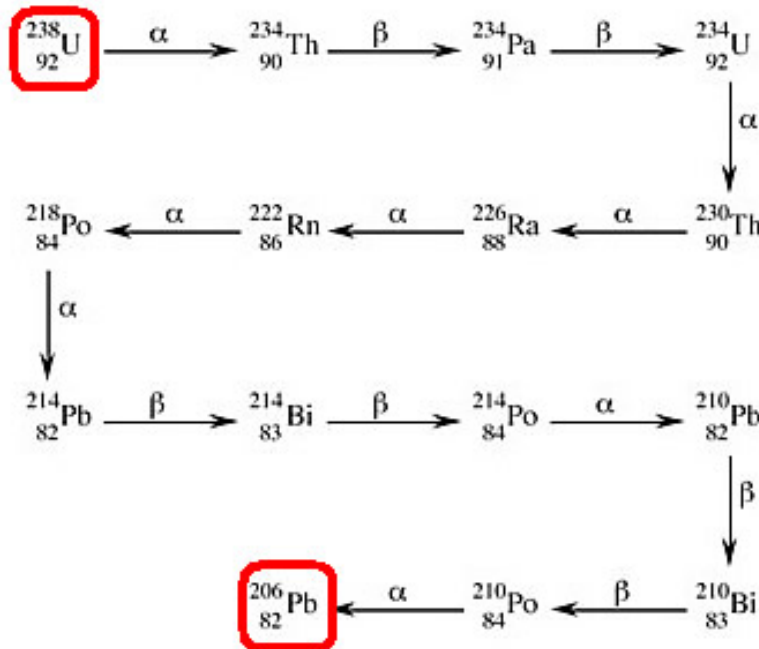


Figure 2: Decaimento do urânio-238

²Para efeito de comparação, considere o lançamento de uma moeda honesta; Se lançarmos uma quantidade pequena de vezes, podemos observar um resultado que probabilisticamente não é verdadeiro. Para sabermos *exatamente* a probabilidade de cair cara ou coroa após o lançamento de uma moeda, deveríamos lança-la infinitas vezes.

3.4 Colocando em números...

A unidade de medida usada para medir a quantidade de radiação absorvida é o Gray (Gy), e corresponde a quantidade de energia de radiação ionizante absorvida por um quilograma. Isto é, $1\text{Gy} = 1\frac{\text{J}}{\text{kg}}$. A partir de agora, vamos estabelecer uma relação entre quantidade de 'grays' absorvidos e os danos causados. É importante salientar que, a exposição a um nível tão grande de radiação só ocorre em casos muito extremos³, como em acidentes nucleares ou em radioterapias.

³Para critério de comparação, para absorver 1 Gy seria necessário fazer 50 mil raios-x do peito. Lembre-se quando trabalhamos com radiação ionizante, medimos sua energia em elétron-volt($1\text{eV} = 10^{-19}\text{J}$). Portanto, receber 1Gy é receber *muita* radiação.

4 Fontes de radiação

4.1 Fontes naturais

Estamos cercados por elementos que emitem radiação ionizante, entre tanto muitas das vezes a exposição é ínfima, não causando danos a nossa saúde. Os raios cósmicos e os radionuclídeos provenientes da crosta terrestre são exemplos de fontes naturais de radiação. Uma dessas fontes naturais que merece destaque é o radônio, um gás natural que tende a se concentrar em ambientes fechados como minas subterrâneas, re sidências ou locais de trabalho.

O radônio é associado ao câncer de pulmão, sendo a 2^a causa mais comum dessa doença, atrás apenas do tabagismo. Uma forma de se proteger desse gás é manter ambientes ventilados, evitando a sua concentração no ar. A unidade usada para medir a absorção de radiação juntamente com as características biológicas é o Sievert (Sv). A dose individual média anual de radiação decorrente de fontes naturais é 53% atribuída ao radônio, ficando por volta dos 1,3 mSv

4.2 Fontes artificiais

As fontes artificiais são aquelas que foram desenvolvidas pelos seres humanos, e são normalmente usadas em tratamentos médicos (raio-x), tomografia, radioterapia) e na geração de energia (usinas nucleares). Entretanto se aplicada de forma correta, os danos, se houverem⁴, iram acontecer de forma controlada.

Em acidentes nucleares entretanto, não há nenhum tipo de controle. No acidente de Chernobyl, por exemplo, os trabalhadores foram expostos a uma média de 10 Gys em menos de 1 minuto. Gerando sérios problemas imediatos e a longo prazo.

⁴No caso da radioterapia, os danos são esperados e provocados de forma intencional. Visto que essa terapia possui como objetivo destruir células, em específico, as do tumor.

5 Efeitos Biológicos da Radiação Ionizante

Existem quatro classificações que remetem aos efeitos biológicos causados pela radiação ionizante. Os determinísticos, estocásticos, genéticos e somáticos. Sua diferenciação dá-se pelo tipo, tempo e quantidade de exposição à radiação, além de áreas afetadas e de, obviamente, o efeito que se demanda.

Dose equivalente (SV)	Efeitos no ser humano
0 – 0,25	Efeitos clínicos não observáveis
0,25 – 0,50	Diminuição temporária do número de glóbulos brancos (leucócitos)
1,0 – 2,0	Náusea, redução dramática de leucócitos
5,0	Morte da pessoa atingida após trinta dias
20,0	Morte da pessoa atingida após algumas horas

Fonte: GrandRad, 2010.

Figure 3: Doses e seus efeitos

5.1 Efeitos Determinísticos

A gravidade das doenças que se decorrem pelos Efeitos Determinísticos são diretamente proporcionais a quantidade de radiação em que o alvo foi exposto. Estão associadas a estes efeitos, problemas de saúde como náuseas, queimaduras ou radionecrose, esterilidade, entre outros. O limiar destes efeitos é geralmente abaixo do ponto em que ocorrem fenômenos clínicos observáveis, sendo esse de 0,1 Gray. Porém, a partir de 0,5 Gray doenças, como as mencionada acima, podem se manifestar sem que haja risco de vida. Também, a partir desse ponto, mudanças no sangue podem ocorrer, como redução de leucócitos.

Em níveis mais altos de exposição, como por exemplo, a partir de 3 Gray, danos ao Sistema Nervoso Central (SNC) e grave redução no número de Glóbulos Brancos podem ser observados.

5.2 Efeitos Estocásticos

Diferente dos Efeitos Determinísticos, onde a gravidade do problema manifestado é diretamente proporcional à dose de radiação recebida, nos Efeitos Estocásticos, a dose apenas interfere na probabilidade de ter ou

não a doença, porém, a gravidade é completamente independente deste fator. Nestes efeitos, também não há um limite de dose. Para exemplificar a decorrência desses efeitos, podemos dizer que a exposição de 1 Sievert⁵ representa uma chance de 5,5% de desenvolver câncer. A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) propôs, em 2007, os coeficientes de probabilidade nominais para desenvolver câncer, observando as informações acima: *"Com base nestes cálculos, a Comissão propõe coeficientes de probabilidade nominais para o risco de câncer ajustado por detritos como $5,5 \times 10^{-2} Sv^{-1}$ para toda a população e $4,1 \times 10^{-2} Sv^{-1}$ para trabalhadores adultos. Para efeitos hereditários, o risco nominal ajustado por detrimento em toda a população é estimado em $0,2 \times 10^{-2} Sv^{-1}$ e em trabalhadores adultos em $0,1 \times 10^{-2} Sv^{-1}$ "*.

5.3 Efeitos Hereditários ou Genéticos

Nos efeitos Hereditários/Genéticos, como o próprio nome sugere, os sistemas reprodutores do indivíduo irradiado são expostos à radiação ionizante e, como consequência, as futuras gerações deste são afetadas. Os problemas causados por estes efeitos puderam ser observados na prática em desastres nucleares de larga escala, como o famoso acidente no Reator 4 de Chernobyl⁶.

5.4 Efeitos Somáticos

Neste caso, somente a pessoa irradiada é afetada. Também existem duas maneiras destes efeitos se apresentarem:

- **Agudos** - As manifestações dos problemas de saúde ocorrem em um curto espaço de tempo (Horas, dias ou semanas)
- **Tardios** - As manifestações dos problemas ocorrem, como o nome sugere, após um longo intervalo de tempo da exposição⁷, em anos ou décadas, por exemplo.

⁵cf.Apêndice I, para conhecer as unidades de medida aqui utilizadas.

⁶Existem mais informações sobre este fato no estudo denominado de "Os filhos de Chernobyl", a BBC fez uma síntese sobre esse assunto: [Artigo da BBC](#)

⁷As exposições também podem ser múltiplas, porém em curto intervalo de tempo e em uma quantidade menor.

6 Radiação é *realmente* perigoso?

É importante fazer uma distinção: Quando tratamos radiação como algo nocivo, geralmente estamos nos referindo à **radiação ionizante**, que é a forma de radiação que possui energia para remover elétrons que estão ligados a átomos e moléculas. Veja que ser considerada ionizante não diz respeito à classificação da emissão radioativa (alfa, beta ou gama) e sim à energia que 'transportada'. Dessa maneira, dizemos que a radiação é ionizante quando sua energia é superior a 10eV .

Mas por que retirar elétrons de átomos pode ser algo nocivo à nossa saúde? Ora, retirar elétrons pode resultar na quebra de ligações químicas, desestabilizando moléculas, como por exemplo, as pontes de hidrogênio do nosso DNA. A radiação pode causar danos quase imediatos, como por exemplo, queimaduras; mas também pode gerar problemas que levam anos para se manifestar, como câncer.

Porém, é sempre importante frisar que o cuidado em ambiente laboratorial deve ser levado à sério. Como vimos anteriormente, nos efeitos somáticos, múltiplas exposições em pequenos intervalos de tempo e até mesmo em baixa quantidade podem se tornar um perigo real à saúde.

6.1 Acidente Radioativo de Goiânia

Esse acidente é, sem dúvida, um dos maiores exemplos de como a falta de conhecimento sobre algo pode ser nociva. Além disso, nos mostra o que acontece quando regras de radio-segurança não são levadas à sério.

Em setembro de 1987, na cidade de Goiânia, o manuseio incorreto de uma máquina de radioterapia abandonada no antigo terreno onde funcionava o Instituto Goiano de Radioterapia (IGR) provocou o que foi considerado o maior acidente radioativo fora de uma instalação nuclear.

Dois catadores de lixo, Wagner Pereira e Roberto Alves, desmontaram uma máquina que encontraram em um dos cômodos do então edifício abandonado, retiraram a parte superior e, em casa, com chaves de fenda, abriram a pesada caixa de chumbo que continha 19 gramas de Cloreto de Césio. *Aqui estamos falando de uma radioatividade de 50.9TBq.*

Esta cápsula foi vendida para Devair Pereira, dono de um Ferro-velho. Neste ponto, Pereira e Alves já apresentavam sintomas, mas acreditavam se tratar apenas de uma intoxicação alimentar.

Na casa de Devair, todos se encantavam com o brilho azul que emanava da cápsula, vários vizinhos e parentes foram convidados para admirar o material "mágico", a filha de Devair chegou a tocar o alimento enquanto comia.

Após 12 pessoas começarem a apresentar problemas de saúde, Marília Gabriela desconfiou que a causa disso seria o pó azul brilhante e então levou para um escritório de saúde do governo local⁸, ninguém sabia do que se tratava.

Após os médicos começarem a desconfiar que se tratava de um envenenamento de radiação, o físico Walter Mendes Ferreira, que detectou altíssimos níveis de radiação e avisou as autoridades competentes, no caso, a Comissão Brasileira de Energia Nuclear (CNEN).

As consequências do acidente podem ser vistas em números, por um artigo do Governo de Goiás sobre: *No total, foram monitoradas 112.800 pessoas, das quais 249 apresentaram significativa contaminação interna e/ou externa, sendo que em 120 delas a contaminação era apenas em roupas e calçados, sendo as mesmas liberadas após a descontaminação. Os 129 que constituíam*

⁸Marília Gabriela foi, sem dúvidas, uma heroína nessa história, afinal, se não fosse ela, o governo demoraria muito mais tempo para tomar ciência do acontecido.

o grupo com contaminação interna e/ou externa passaram a receber acompanhamento médico regular. Destes, 79 com contaminação externa receberam tratamento ambulatorial; dos outros 50 radioacidentados e com contaminação interna, 30 foram assistidos em albergues, em semi-isolamento, e 20 foram encaminhados ao Hospital Geral de Goiânia; destes últimos, 14 em estado grave foram transferidos para o Hospital Naval Marcílio Dias, no Rio de Janeiro, onde quatro deles foram a óbito, oito desenvolveram a Síndrome Aguda da Radiação - SAR -, 14 apresentaram falência da medula óssea e 01 sofreu amputação do antebraço. No total, 28 pessoas desenvolveram em maior ou menor intensidade, a Síndrome Cutânea da Radiação (as lesões cutâneas também eram ditas “radiodermites”). Os casos de óbito ocorreram cerca de 04 a 05 semanas após a exposição ao material radioativo, devido a complicações esperadas da SAR - hemorragia (02 pacientes) e infecção generalizada (02 pacientes).

6.2 Desastre nuclear de Chernobyl

A imperícia do homem e o domínio de um governo aliados à uma grande quantidade de material radioativo, produziram o maior desastre radioativo do mundo, lembrado até hoje pela sua magnitude, o Desastre Nuclear de Chernobyl é referência neste assunto.

26 de Abril de 1986, são 01:23 da madrugada, os sistemas de segurança do reator 4 são desativados, os funcionários atuam sobre ordens de realizar um teste com fins de economizar energia. Os cidadãos dormem tranquilamente, enquanto o teto concretado de 1200t do bloco 4 da usina de Chernobyl é projetado para cima pela intensa explosão ocorrida no reator, uma nuvem de poeira radioativa é expelida em até 1000m de altura.

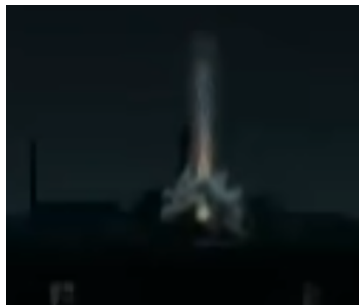


Figure 4: Simulação do momento da explosão do reator 4.

Nesta noite, são feitas as primeiras vítimas deste desastre, sem saber da gravidade do acidente e sem o material de proteção adequado, 23 bombeiros⁹ chegam para tentar conter o incêndio. Todos foram expostos à doses letais de radiação.

No dia seguinte, os cidadãos de Pripjat vivem suas vidas tranquilamente¹⁰, sem saber do que havia acontecido, segundo Vladimir Grebeniuk, "As pes-

⁹Quando a mídia trata esses homens como heróis anônimos, não é mentira. Grande parte desses bombeiros sequer tiveram os nomes ou fotos divulgadas pelo governo, uma parte, esquecida completamente. A esposa de Vasily Ignatenko, um dos bombeiros mortos naquela noite, chegou a escrever um livro sobre: "Vozes de Chernobyl: A História de um Desastre Nuclear"

¹⁰Neste ponto, lidamos com uma coisa complicada: Política. No **documentário produzido pela Discory**, Mikhail Gorbachev diz que a informação passada pelas autoridades locais da usina era de que tudo estava em perfeita segurança, porém, como sempre, há várias versões.

soas sentiam um gosto diferente na boca, um gosto metálico[...]. Ninguém, nestas primeiras 36 horas, foi evacuado.

Após a falha tentativa de cessar os incêndios no reator destruído, helicópteros começaram a despejar areia nas ruínas, na tentativa de abafar as chamas e conter os gases com poeira radioativa. Patrulhas foram enviadas para medir os níveis de radiação pela cidade e na parte externa da usina, os homens acreditavam que seus equipamentos estivessem defeituosos, dado os altíssimos níveis de radiação captados. Em 4 dias, os cidadãos iriam receber a dose letal de radiação.

Porém, logo após essas 36 horas, o exército iniciou a evacuação do local. Todos¹¹ tiveram que deixar tudo para trás.

O acidente só tomou caráter público quando a Suécia registrou aumento abrupto nos níveis de radiação. Segundo Mikhail Gorbachev: "[...]foi a Suécia que enviou o alerta para nós[...]".

Foram evacuadas cerca de 335 mil pessoas após estabelecimento do perímetro de segurança, 600 mil pessoas participaram das ações de contenção posteriores ao acidente, 40 mil pessoas foram hospitalizadas e as causas ambientais são sentidas até hoje.



Figure 5: Liquidadores de chernobyl

¹¹Muitos idosos não evacuaram, por herança de pensamentos da guerra. Seus corpos eram encontrados alguns dias após o evento, o negacionismo cumpre um papel maléfico em qualquer lugar da história.

7 Apêndice I: Unidades de medida

Nesse apêndice será apresentado um resumo das unidades de medidas utilizadas no contexto de radiações. É importante dizer que tais unidades 'derivam' de outras¹², que não serão detalhadas.

- **Becquerel (Bq)**: O becquerel mede a quantidade de desintegrações nucleares por segundo, temos que $1Bq = 1s^{-1}$, logo $1\mu s^{-1}$ significa 10^6 desintegrações por segundo.
- **Gray (Gy)**: O gray estima a quantidade de radiação absorvida, em joules por quilogramas, isto é, $1Gy = 1\frac{J}{Kg}$.
- **Sievert (Sv)**: O sievert é a unidade usada para avaliar os efeitos biológicos da absorção de radiação pelos seres humanos, levando em consideração órgãos afetados e afins. Temos que: $1Sv = 1\frac{J}{Kg}$ ¹³.
- **Elétron-Volt (eV)**: Resumidamente, o elétron-volt é a quantidade de energia cinética de um *único* elétron no vácuo. Fazendo um paralelo com os joules, temos: $1eV \cong 10^{-18}J$.
- **Curie (Ci)**: Era a unidade do SI antes do becquerel, entretanto ainda é usada em países como os Estados Unidos. $1Ci = 3,7 \cdot 10^{10}Bq$.

Propriedade	Nome da unidade	Símbolo	Definição
Atividade	becquerel	Bq	1 desintegração por segundo
	curie	Ci	$3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo
Dose absorvida	gray	Gy	$1J \cdot kg^{-1}$
	Dose de radiação absorvida	rad	$10^{-2}J \cdot kg^{-1}$
Dose equivalente	sievert	Sv	$Q \times dose\ absorvida$
	Roentgen equivalente no homem	rem	$Q \times dose\ absorvida$ ($10^{-2}Sv$)

Obs: As unidades no SI estão em vermelho!

Figure 6: Tabela com unidades de medida e suas correspondências no S.I.

¹²Existem 7 grandezas fundamentais do SI(Sistema Internacional de Unidades), são elas: Ampère; Kelvin; Segundo; Metro; Quilograma; Candela e Mol.

¹³O leitor atento perceberá que de fato, a relação que define o Sievert é a mesma do Gray, então qual é a diferença? A diferença está no fato que o Sievert é aplicado para os efeitos biológicos em seres humanos enquanto o Gray mede puramente a absorção.

8 Apêndice II: Fotos do Acidente em Goiânia

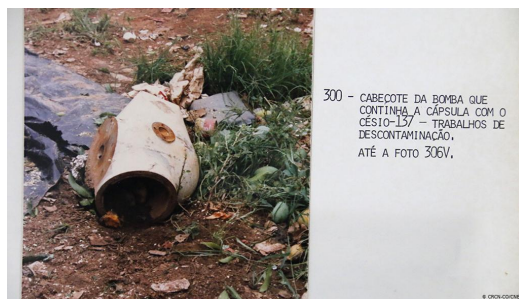


Figure 7: Cápsula que continha o material radioativo



Figure 8: Descontaminação da cidade



Figure 9: Descontaminação da cidade



Figure 10: Descontaminação da cidade



Figure 11: Fila para examinar a população



Figure 12: Cerco feito por militares no enterro de Leide das Neves Ferreira e María Gabriela



Figure 13: Jornal da época relatando os ocorridos



Figure 14: Uma das vítimas do acidente, Odesson Alves

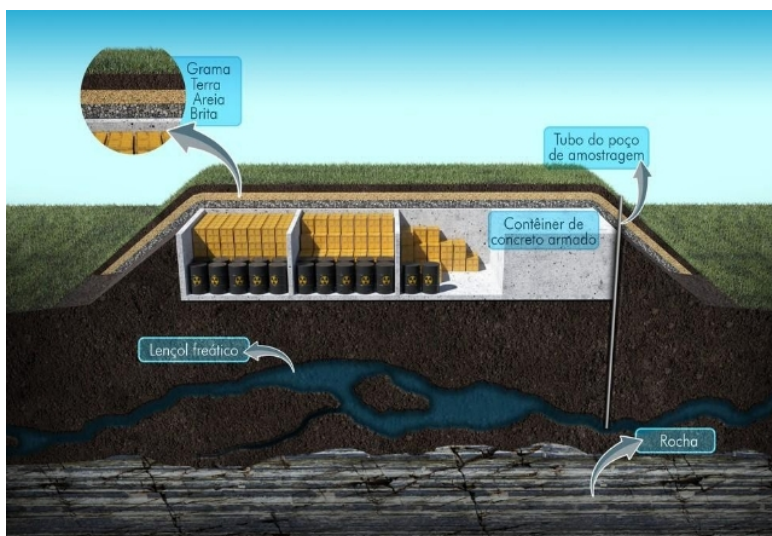


Figure 15: Esquema de onde estão enterrados os resíduos radioativos.

References

- [1] Radioatividade ABIROCHAS. “suas unidades de medida: conceitos básicos”. In: *São Paulo* (2008).
- [2] RN ALVES. “Relatório do Acidente Radiológico em Goiânia, apresentado a comissão parlamentar de inquérito do senado federal”. In: *Brasília: Comissão Nacional de Energia Nuclear* (1988).
- [3] Camilla Morais Almeida Amorim and Paulo Pinhal Junior. “OS EFEITOS BIOLÓGICOS E OS RISCOS ASSOCIADOS AOS RAIOS X”. In: *UNILUS Ensino e Pesquisa* 13.30 (2016), p. 242.
- [4] Ana Cecília Pedrosa de AZEVEDO. “Radioproteção em serviços de saúde”. In: *Rio de* (2005).
- [5] Keith Baverstock and Dillwyn Williams. “The Chernobyl accident 20 years on: an assessment of the health consequences and the international response”. In: *Environmental Health Perspectives* 114.9 (2006), pp. 1312–1317.
- [6] ELIEZER DE MOURA CARDOSO et al. “Radioatividade”. In: *Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN* (2000).
- [7] SUPERINTENDÊNCIA LEIDE DAS NEVES FERREIRA. “História do Acidente Radioativo de Goiânia”. In: ().
- [8] National Geographic. “Seconds from disaster Fukushima”. In: ().
- [9] V Kortov and Yu Ustyantsev. “Chernobyl accident: Causes, consequences and problems of radiation measurements”. In: *Radiation Measurements* 55 (2013), pp. 12–16.
- [10] Barbara Paci Mazzilli, MF Máduar, and MP Campos. “Radioatividade no meio ambiente e avaliação de impacto radiológico ambiental”. In: *São Paulo: IPEN* (2011).
- [11] Fábio Jesus Miranda et al. “Acidente radioativo de Goiânia:” O tempo cura todos os males?” In: *Arquivos Brasileiros de Psicologia* 57.1 (2005), pp. 58–87.
- [12] Emico Okuno. *Radiação: efeitos, riscos e benefícios*. Oficina de Textos, 2018.

- [13] Licianne Pimentel Santa Rosa et al. “O legado do acidente de Fukushima: uma análise das causas para aprendizado da engenharia”. In: *SEMOC-Semana de Mobilização Científica* (2019).
- [14] Luciano Sbriz. “Fontes de radiação”. In: (2002).