



## COMPARAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO DECAIMENTO RADIOATIVO ATRAVÉS DE LANÇAMENTOS DE POLIEDROS.

### COMPARISON OF THE BEHAVIOR OF RADIOACTIVE DECAY THROUGH POLYHEDRONS THROWINGS.

C. V. Bauman Bertti<sup>1</sup>, A. N. Silveira<sup>2</sup>, A. G. Dytz<sup>3</sup>, E. Arashiro<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Laboratório Ciência Impressa 3D (Ci3D), Universidade Federal do Rio Grande (FURG), bauman.bertti@gmail.com.

<sup>2</sup> Mestrado Profissional em Ensino de Física – Polo 21 FURG (MNPEF – Polo 21), silveira.a.n@gmail.com.

<sup>3</sup> Instituto de Matemática Estatística e Física (IMEF), Universidade Federal do Rio Grande (FURG), alinedytz@furg.br.

<sup>4</sup> Instituto de Matemática Estatística e Física (IMEF), Universidade Federal do Rio Grande (FURG), earashiro@furg.br.

#### Resumo

A física moderna faz parte do currículo de física do ensino médio, porém raramente ela é abordada. Dessa maneira, assuntos como radioatividade e decaimento radiativo dificilmente são trabalhados em sala de aula, e mais dificilmente com prática associada visto que materiais radioativos são nocivos e seguem legislação específica para sua manipulação. Para tentar suprir essa deficiência e propiciar uma prática foi realizada uma simulação das curvas de decaimento radioativo utilizando conjuntos de poliedros (físicos ou virtuais), onde cada conjunto é formado com poliedros com um determinado número de faces. Quando um átomo emite algum tipo de radiação é dito que o elemento químico sofreu um decaimento radioativo e este processo, além de ser uma transmutação da matéria, é um processo espontâneo e completamente aleatório. O tempo médio em que metade dos átomos de uma certa amostra decaem, formando outro elemento químico, conhecido como tempo de meia-vida, é específico para cada elemento químico radioativo e pode-se utilizar poliedros com números de faces diferentes para simular esta condição. A probabilidade de um átomo específico decair após um certo período de tempo pode ser simulada comparando o lançamento dos poliedros subtraindo-se a quantidade de poliedros em função de uma das faces escolhidas.

**Palavras-Chave:** simulação com poliedros; tempo de meia-vida; radioatividade.

#### Abstract

Modern physics is part of the High School physics curriculum, but it is rarely covered. Thus, subjects such as radioactivity and radioactive decay are rarely worked in the classroom, and more difficult with associated practice, since radioactive materials are harmful and follow specific legislation for their use. In order to try to overcome this deficiency and provide a practice, a simulation of the radioactive decay curves was performed using sets of polyhedra (physical or virtual), where each set is formed with polyhedra with a certain number of faces. When an atom emits some type of radiation, it is said that the chemical element has undergone radioactive decay and this process, in addition to being a transmutation of matter, is a spontaneous and completely random process. The average time in which half of the atoms in a given sample decay, forming another chemical



element, known as the half-life time, is specific to each radioactive chemical element and polyhedra with different numbers of faces can be used to simulate this condition. The probability of a specific atom decaying after a certain period of time can be simulated by comparing the polyhedrons throwings by subtracting the number of polyhedra as a function of one of the chosen faces.

**Keywords:** simulation with polyhedra; half-life; radioactivity.

### Introdução

Há uma carência, no ensino médio, na abordagem e discussão de tópicos de Física Moderna, e quando ocorrem os experimentos são quase inexistentes. Em parte, pela dificuldade de tratar sobre o tema, mas a falta de tempo disponível também é um fator para não trabalhar esses assuntos. Pensando nisso foi desenvolvida uma atividade que de forma simples e prática traz o entendimento sobre decaimento radioativo, com uso de poliedros.

Outra questão importante de salientar é que existe uma legislação específica, Normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN, 2014), que restringe a compra e manipulação de material radioativo, assim, o uso de simuladores podem ser um recurso muito interessante para que os estudantes entendam sobre os efeitos estando isentos dos possíveis riscos associados a manipulação de materiais radioativos (MESQUITA, 2019). Esta simulação pode ser feita com recursos diferenciados e neste trabalho foi escolhido o uso de poliedros. Assim, foi realizada uma simulação que não envolvesse o uso de materiais radioativos e permitisse uma comparação fidedigna com o processo estatístico do decaimento.

Quando um átomo emite algum tipo de radiação é dito que o elemento químico sofreu um decaimento radioativo. O processo de decaimento radioativo além de ser uma transmutação da matéria, pois o elemento decaído geralmente é diferente do elemento emissor da radiação, também é um processo espontâneo e probabilístico. O tempo médio em que metade dos átomos de uma certa amostra decaem é conhecido como tempo de meia-vida e tem um comportamento exponencial. Este trabalho trata de uma simulação do decaimento radioativo usando poliedros com um número específico de faces, visto que, a probabilidade de um determinado tipo de elemento radioativo decair após um certo período de tempo pode ser simulada estudando o processo probabilístico como no caso de lançamentos subsequentes de poliedros com eliminação de um pré-determinado valor do dado a cada lançamento.

### 1. Fundamentação Teórica

A atividade prática envolvendo o conhecimento de decaimento radioativo é proposta para uma situação de sala de aula onde o professor instrui o estudante a explorar a questão do decaimento radioativo utilizando recursos em que ele, com auxílio dos colegas, busca a solução para o entendimento da situação problema, como os átomos decaem? A solução deve ser vista como um indicativo de seu desenvolvimento mental. Neste caso, para Vygotsky (2007), o que o aluno consegue fazer com a ajuda dos outros, pode ser de alguma maneira, muito mais indicativo de seu desenvolvimento mental do que o que consegue fazer sozinho.

Assim o papel do professor está focado na construção de novos conhecimentos do aluno, de forma a orientá-lo, incentivá-lo e estimulá-lo com ações que potencialize sua aprendizagem e, conseqüentemente, seu desenvolvimento. Vygotsky atribui uma grande relevância à interação social no processo de construção das funções psicológicas humanas, a partir do entendimento do conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), que é a distância entre o nível de desenvolvimento real e o nível de desenvolvimento potencial.



Aquilo que é ZDP hoje será o nível de desenvolvimento real amanhã, ou seja, aquilo que uma criança pode fazer com assistência hoje, ela será capaz de fazer sozinha amanhã (VYGOTSKY, 2007, p.98).

Com isso o aprendizado desperta processos de desenvolvimento que aos poucos vão fazendo parte das funções psicológicas do indivíduo. Na atividade prática, o trabalho em grupo também desperta discussões sobre o assunto e contextualização do tema com fatos e situações reais, além de motivar os alunos a pensar e entender as relações propostas na atividade. As bases da teoria em relação ao decaimento permitem ensinar sobre as partículas e radiação eletromagnética.

Na desintegração radioativa, o núcleo de um átomo emite espontaneamente uma partícula  $\alpha$  (um núcleo de  ${}^4_2\text{He}$ ), uma partícula  $\beta$  (um elétron ou pósitron) e/ou um raio  $\gamma$  (um fóton), tendo assim uma configuração mais estável.

Uma fonte radioativa contém átomos e não há modo de dizer quando um dado núcleo irá desintegrar. No entanto, em média, pode-se prever que após um certo intervalo de tempo, chamado meia-vida ( $t_{1/2}$ ), metade dos átomos terá se desintegrado. Na próxima meia-vida, metade dos átomos remanescentes irá sofrer decaimento, e assim sucessivamente. Cada isótopo radioativo possui um tempo de meia-vida diferente. Esse período pode ser expresso em segundos, minutos, horas, dias e anos.

Na figura 1a é mostrado o gráfico de comportamento geral de número de núcleos presentes ao longo do tempo de uma amostra radioativa, nele também estão identificados os tempos de meia-vida. O tipo de curva apresentado na figura é um decaimento exponencial com o tempo. Isso é um indicativo que a desintegração radioativa é de natureza estatística. Cada núcleo em uma amostra radioativa possui uma certa probabilidade de desintegração, mas não há um meio de se conhecer, antecipadamente, qual núcleo se desintegrará em dado intervalo de tempo.

Uma maneira de representar matematicamente o decaimento radiativo foi estabelecida experimentalmente por Ernest Rutherford e Frederick Soddy (1902) e posteriormente deduzida por Ergon von Schweidler (KAPLAN, 1983) a partir de considerações estatísticas, é através da equação,

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

onde  $N_0$  é o número de átomos inicialmente presentes,  $N$  o número de átomos que ainda não se desintegraram após um intervalo de tempo  $t$ ,  $e$  é a base dos logaritmos naturais ou neperianos, e  $\lambda$  é a constante de decaimento que é a probabilidade de desintegração por unidade de tempo, ou ainda, ela caracteriza a velocidade de desintegração de uma substância.

Se for aplicado o logaritmo neperiano em ambos os lados da Eq. (1), será obtido a equação,

$$\ln(N) = \ln(N_0) - \lambda t \quad (2)$$

sendo assim, se com os mesmos resultados da figura 1a, for feito um gráfico semi-logarítmico em que a escala vertical é logarítmico neperiano e a horizontal linear (figura 1b), em vez de se obter uma curva, irá se obter uma reta, cujo coeficiente angular é a constante de decaimento  $\lambda$ .

A relação entre a constante de decaimento e a meia-vida pode ser encontrada sabendo-se que, para  $t = t_{1/2}$ ,  $N$  será igual a  $N_0/2$ , e utilizando a Eq. (1), obtém-se

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (3)$$



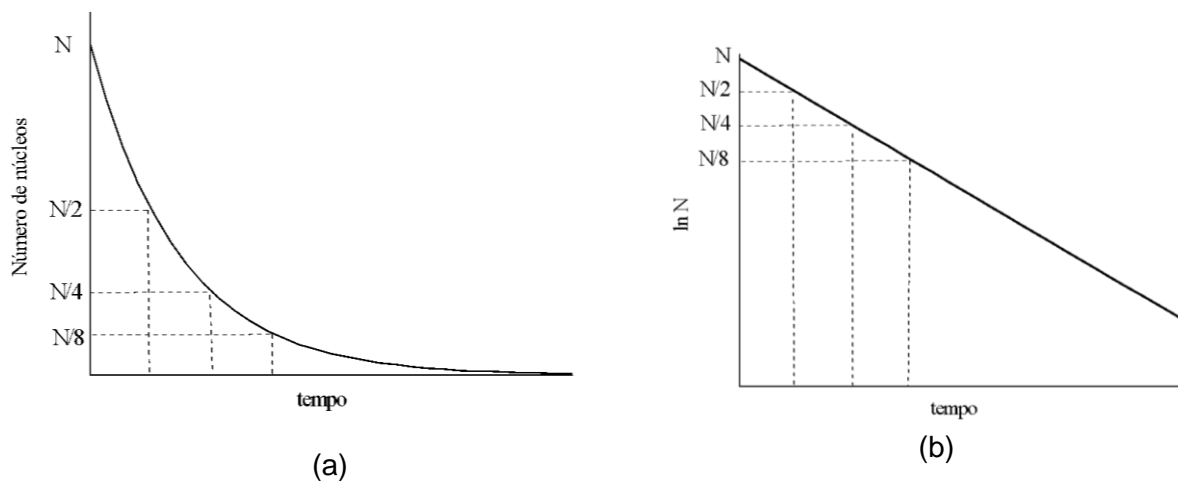
Uma vez que  $N_0$  é diferente de zero, pode ser eliminado de ambos os membros, e calculando o logaritmo neperiano de ambos os lados da equação obtém-se

$$\ln 2 = \lambda t_{1/2}, \quad (4)$$

sendo assim,

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (5)$$

Figura 1 – (a) Gráficos de número de núcleos ao longo do tempo. (b) Gráfico do logarítmico neperiano do número de núcleos em função do tempo.



Fonte: Autores

O comportamento do decaimento radioativo pode ser simulado fazendo uso de poliedros, visto que, a probabilidade de um átomo específico decair após um certo período pode ser simulada estudando o processo aleatório de lançar poliedros.

## 2. Métodos e Materiais

Foram usadas 100 unidades de poliedros (dados) de 6 faces para serem lançados pelos grupos, ressalta-se que se a aquisição de dados seja inviável, é possível usar algum tipo de aplicativo para *smartphone* que simula o lançamento dos poliedros. Além dos poliedros físicos, foi usado também o aplicativo *Mighty Dice*, disponível na loja de aplicativos *Google Play*, pois ele apresenta uma interface simples e fácil de manipular, além de ser possível usar poliedros de diversas faces que podem ser entendidos como radioisótopos diferentes, consequentemente com constantes de tempo e meia-vidas diferentes.





# Encontros Integrados em Física e seu Ensino 2022

II Encontro do MNPEF (En-MNPEF)  
VIII Escola Brasileira de Ensino de Física (EBEF)  
XI Escola de Física Roberto A. Salmeron (EFRAS)

Universidade de Brasília  
Instituto de Física  
12 a 16 de dezembro de 2022

*100 anos de Darcy Ribeiro*

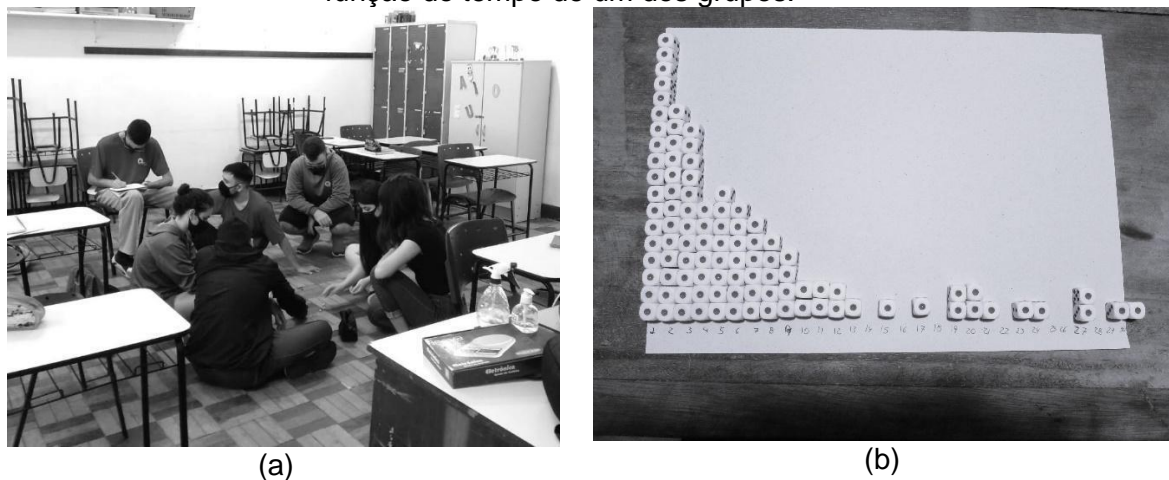
Figura 2 – (a) Poliedros de 6 faces (dados convencionais) (b) Aplicativo Mighty Dice



Fonte: Autores

Para simular as probabilidades de um átomo decair lançando os poliedros, cada grupo de alunos (Figura 3a) recebeu um conjunto de poliedros de mesmo número de faces (100 unidades), juntamente com a face designada como o número de "decaimento" (no caso foi escolhido a face 1), ou seja, o número voltado para cima em que se o poliedro cair deve ser retirado após o lançamento simultâneo de todos os poliedros. A cada lançamento de poliedros, pode-se montar uma coluna com os poliedros removidos do montante de cada lançamento, Figura 3b, fazendo com que os próprios poliedros já indiquem a curva exponencial que resultará da prática. Na simulação esses poliedros retirados são considerados a atividade radioativa do elemento simulado/estudado. O procedimento foi repetido até a retirada de todos os poliedros. Como já mencionado, o uso de poliedros de faces diferentes permite simular curvas semelhantes, mas que podem ser comparadas a elementos radioativos diferentes e, portanto, a atividades diferentes.

Figura 3 – (a) Um dos grupos realizando a atividade proposta. (b) Poliedros decaídos em função do tempo de um dos grupos.



Fonte: Autores



Depois foram montados gráficos que mostram o comportamento exponencial da atividade proposta, podendo-se fazer a analogia com a curva do decaimento radioativo para comparar e entender o processo do decaimento radioativo e do tempo de meia-vida. Obviamente uma exponencial pode ter outras aplicações, mas o intuito da aplicação serviu como exemplo para e contextualização, assim este procedimento de uso de poliedros pode auxiliar em várias áreas da ciência como a geologia, arqueologia e medicina nuclear.

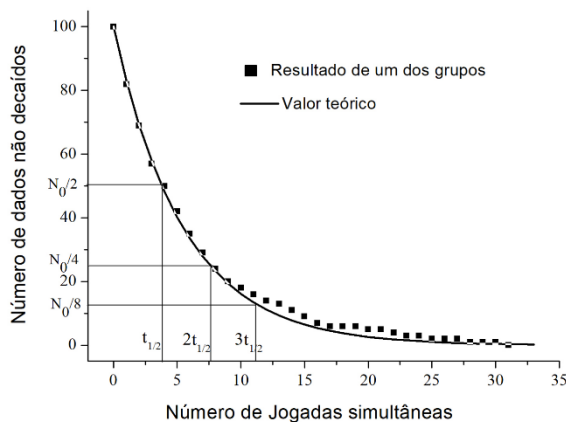
### 3. Resultados e Discussões

A atividade foi aplicada em uma turma do terceiro ano do Ensino Médio do Colégio Sagrado Coração de Jesus, Rio Grande - RS, que se caracterizava por um foco no Exame Nacional do Ensino Médio, ENEM, devido a isso tinham notas altas e chegaram ao quarto bimestre na etapa pós-ENEM desmotivados de participar das propostas de avaliação, mas a turma recebeu a atividade de maneira muito positiva, pois ao longo do ano foi discutido diversas vezes questões relacionadas a radioatividade devido a alguns alunos terem assistido a série CHERNOBYL (2019), transmitida pelo canal HBO.

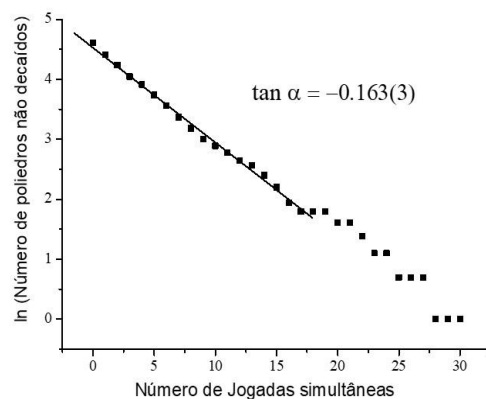
Cada grupo lançava uma quantidade determinada de poliedros físicos ou virtuais. A partir do procedimento definido em Materiais e Métodos montaram-se as tabelas registrando o número do lançamento, a quantidade de poliedros decaídos naquele lançamento e a quantidade de poliedros remanescentes. A partir das tabelas constrói-se os gráficos que relacionam o número de poliedros não decaídos pelo número de jogadas. Com o gráfico é possível discutir e marcar graficamente a meia-vida para os valores coletados.

A Figura 4 mostra os gráficos produzidos no software SciDAVis (2022) com os resultados coletados pelos alunos de um dos grupos com os poliedros de 6 faces. Na figura 4a temos o número de poliedros não decaídos em função do tempo, nele também estão identificados os tempos de meia-vida e a curva de decaimento teórico. E na figura 4b é mostrado os mesmos resultados da simulação, mas com o logaritmo neperiano do número de poliedros não decaídos em função do tempo, e o coeficiente angular forneceu a constante de decaimento  $\lambda = 0,163$ , e usando a Eq. (5). tem-se que a meia-vida é próximo de  $t_{1/2} = 4,25$ .

Figura 4 – (a) Gráfico de número de poliedros de 6 faces não decaídos em função do tempo. (b) Gráfico do logaritmo neperiano do número de poliedros de 6 faces não decaídos em função do tempo.



(a)



(b)

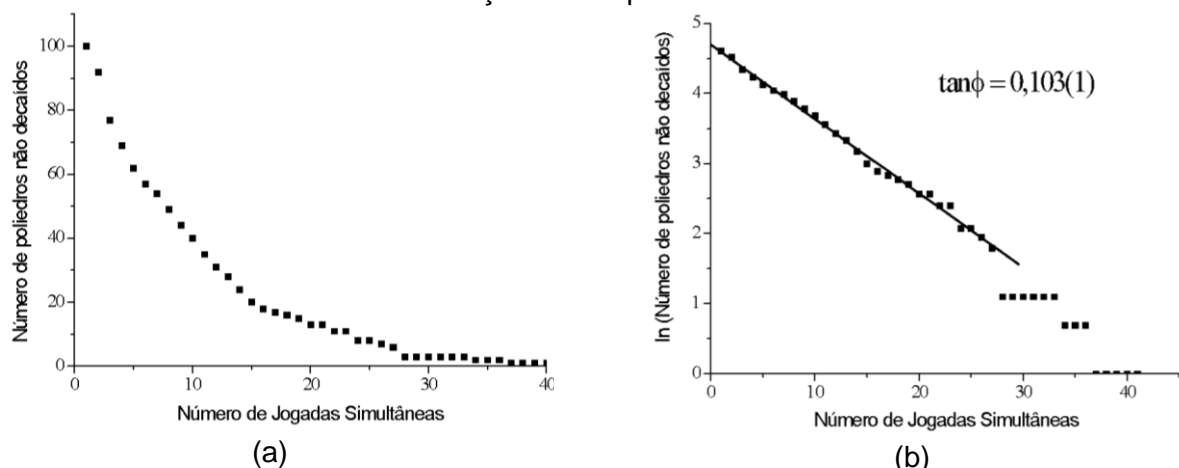
Fonte: Autores



É possível verificar que com os resultados que tinham conseguido com boa eficiência determinar a constante de decaimento  $\lambda$  e a meia-vida  $t_{1/2}$  do radioisótopo simulado pelo lançamento de poliedros, que para o caso de 6 faces, seriam respectivamente  $\lambda = 1/6$  (que é a probabilidade de uma determinada face de um dado de 6 faces cair com o número virado para cima) e  $t_{1/2} = 4,16$ .

A Figura 5 mostra os gráficos produzidos com os resultados coletados por um dos grupos de alunos, agora fazendo o lançamento de poliedros virtuais de 10 faces usando o app Mighty Dice. Na figura 5a temos o número de poliedros não decaídos em função do tempo e na figura 5b é mostrado os mesmos resultados, mas com o logaritmo neperiano do número de poliedros não decaídos em função do tempo, e o coeficiente angular forneceu a constante de tempo  $\lambda = 0,103(1)$ , tendo conseqüentemente a meia-vida próximo de  $t_{1/2} = 6,7$ . Os resultados estão dentro do esperado para um poliedro de 10 faces, que tem a probabilidade de uma determinada face ser sorteada de 0,10 e, conseqüentemente, meia-vida de 6,93.

Figura 5 – (a) Gráfico de número de poliedros de 10 faces não decaídos em função do tempo. (b) Gráfico do logaritmo neperiano do número de poliedros de 10 faces não decaídos em função do tempo.



Fonte: Autores

Antes da atividade proposta foi realizada uma aula para apresentar os conceitos de radioatividade, mas após a atividade a discussão foi muito enriquecedora. Pois com o entendimento do que é meia-vida foi possível entender a razão de alguns materiais radioativos demoram tanto tempo para deixarem de ter uma emissão significativa, trazendo novamente a discussão sobre o que aconteceu em Chernobyl e a razão das medidas protetivas a serem tomadas devem perdurar por muitos anos e para voltar a ser habitável levará milhares de anos. Além do acidente na usina nuclear também foi discutido como é possível determinar a idade de fósseis, através da datação por carbono-14.

## 4. Considerações Finais

O trabalho apresentou o conceito de decaimento radioativo aos alunos de maneira simples, acessível e principalmente com baixo custo. Houve uma receptividade positiva culminando numa discussão, acima do esperado, sobre as aplicações dos conceitos de radioatividade e meia-vida.

Com o experimento foi possível ampliar a compreensão que o decaimento radioativo é um processo probabilístico, mas que é possível, em média, prever que após um dado intervalo de



## Encontros Integrados em Física e seu Ensino 2022

II Encontro do MNPEF (En-MNPEF)  
VIII Escola Brasileira de Ensino de Física (EBEF)  
XI Escola de Física Roberto A. Salmeron (EFRAS)

Universidade de Brasília  
Instituto de Física  
12 a 16 de dezembro de 2022

*100 anos de Darcy Ribeiro*

tempo, chamado meia-vida ( $t_{1/2}$ ), metade dos núcleos terá se desintegrado. Cada radioisótopo tem uma meia-vida característica. Um radioisótopo com uma meia-vida longa decai mais lentamente que aquele com uma meia-vida curta.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

### Referências

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear. Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. CNEN NN 3.01 (Resolução CNEN 164/14); Rio de Janeiro: 2014.

CHERNOBYL. Direção: Johan Renck. Produção: Craig Mazin, Carolyn Strauss, Jane Featherstone. HBO. Estados Unidos, Reino Unido, 2019. Acesso em: 25 out. 2022.

KAPLAN, I. **Física Nuclear**. 2ª ed., Guanabara Dois: Rio de Janeiro, 1983, 633p

MESQUITA, D. G.; DYTZ, A. G. Simulador de Medidor de Atividade para Práticas de Ensino. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 13, p. 53-59, 2019. <https://doi.org/10.29384/rbfm.2019.v13.n3.p53-59>.

RUTHERFORD, E., SODDY, F. The cause and nature of radioactivity. **Philosophical Magazine**, v. 4, p. 370-396, 1902.

SciDAVis. Versão 2.9.2. Miquel Garriga, Arun Narayanankutty, Dmitriy Pozitron, Russell Standish, 2022.

VYGOTSKYI, L. S. **A formação social da mente**: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores. Trad. José Cipolla Neto; Luís Silveira Menna Barreto; Solange Castro Afeche. 7.ed. São Paulo: Martins Fontes, [1984] 2007.