

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL – PROFQUI

**QUÍMICA: ESTRATÉGIAS PARA O ENSINO DE RADIOATIVIDADE  
NO ENSINO MÉDIO**

**CHEMISTRY: STRATEGIES FOR TEACHING RADIOACTIVITY IN  
HIGH SCHOOL**

Tipo de produto: Educacional

Autores: Elcio Vinicius Althoff (Orientado), Renata Mello Giona (Orientadora); Ana  
Cristina Trindade Cursino (Co-orientadora)

Banca Examinadora: Renata Mello Giona - UTFPR (Presidente), Juliane Maria  
Bergamin Bocardi – UTFPR (Membro) e Cristiana da Silva – UFGD (Membro)

*PRODUTO EDUCACIONAL DESENVOLVIDO NA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA  
FEDERAL DO PARANÁ – CAMPUS MEDIANEIRA*

Título da Dissertação relacionada: **RADIOATIVIDADE: A ELABORAÇÃO DE UM  
PRODUTO COMO CONTRIBUIÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE CONHECIMENTOS**  
(defendida em 26/07/2022)

MEDIANEIRA - PR

2022



[4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho licenciado para fins não comerciais, com crédito atribuído ao autor. Os usuários não têm que licenciar os trabalhos derivados sob os mesmos termos estabelecidos pelo autor do trabalho original. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

## SUMÁRIO

<b>AULA 1 – Avaliação do conhecimento prévio dos discentes sobre radioatividade.....</b>	<b>03</b>
<b>AULA 2 – Radioatividade e Gamificação – Kahoot.....</b>	<b>08</b>
<b>AULA 3 – Isótopos. ....</b>	<b>13</b>
<b>AULA 4 – Construindo um gráfico de decaimento radioativo .....</b>	<b>19</b>
<b>AULA 5 - Trabalhando o decaimento radioativo beta: conceito de meia vida por simulação interativa PHET.....</b>	<b>25</b>

## AULA 1 – Avaliação do conhecimento prévio dos discentes sobre radioatividade.

TEMPO	01 aula (50min)
OBJETIVOS	
Geral	Específicos
Diagnosticar o nível de conhecimento dos alunos a respeito do tema radioatividade.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Identificar por meio de avaliação diagnóstica, o nível de conhecimento prévio dos alunos sobre radiatividade.</li><li>- Compreender a concepção que os discentes têm sobre o conceito de radioatividade.</li></ul>

Quadro 1 - Objetivos. Fontes: autoria própria.

<b>CONTEÚDOS</b>	<b>Conceituais</b>	Compreender as estruturas atômicas, definição de isótopos, história da radioatividade, decaimento de uma massa radioativa.
	<b>Procedimentais</b>	Compreender e analisar as características dos elementos químicos radioativos, suas formas de mutação, bem como suas emissões alfa, beta, gama e a meia vida de um núcleo radioativo.
	<b>Atitudinais</b>	Analisar a evolução dos conceitos de radioatividade, relacionando-os com suas aplicações tecnológicas atuais.

Quadro 2 - Conteúdos. Fontes: autoria própria.

### 1. Apresentação

Como primeira atividade, propõe ao professor que seja aplicado um questionário para a verificação dos conhecimentos prévios dos alunos em relação ao conteúdo de Radioatividade, utilizando alguns aplicativos como: *Mentimeter* (*Nuvens de palavras*) ou *Google Forms* e uso de textos para servir como base para a correção das questões respondidas por eles.

## 2. Desenvolvimento

O professor deverá solicitar, com antecedência, que os alunos tragam o celular como material pedagógico, a fim de ser utilizado de forma individual. Utilizando os aplicativos indicados, o professor, criará as perguntas que os alunos responderão interativamente e simultaneamente, estando conectados à internet pelo celular:

- **Mentimeter** (Nuvem de palavras): <https://www.mentimeter.com/pt-BR>



- Qual a melhor palavra você escolheria para descrever Radioatividade?

- **Google Forms** (pergunta aberta e objetivas): <https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>

- O fenômeno conhecido como radioatividade faz parte do seu cotidiano? Cite um exemplo?

---

---

- Que pessoa pode ser relacionada à descoberta da radioatividade?

( ) Marie Curie

( ) Jonh Dalton

( ) Karl Marx

- Qual termo pode ser aplicado para caracterizar o número de núcleos de uma substância radioativa que se desintegra por unidade de tempo?

( ) Decaimento radioativo

( ) Meia-vida

( ) pH de uma substância

- Qual a cidade brasileira que ficou conhecida por ter sido palco de um acidente radioativo numa usina nuclear e que teve grande repercussão:

( ) Angra dos Reis

( ) Goiânia

( ) Brumadinho

### 3. Análise do conhecimento prévio dos alunos

Após os alunos responderem as questões de conhecimento prévio por meio dos aplicativos, o professor deve analisar e indicar as respostas que melhor definem o conteúdo de Radioatividade, de acordo com os discentes.

Em seguida, o professor pode sugerir aos alunos que acessem os textos que estão na sequência, para servir de base para complementação das respostas e a compreensão do tema, a partir de sua leitura como revisão bibliográfica e fonte de pesquisa:

- **Texto 1: Aston e a descoberta dos isótopos: As tentativas de Aston na procura dos isótopos** (Sugerida a leitura das páginas 35 e 36). Disponível em: <http://webeduc.mec.gov.br/portaldoprofessor/quimica/sbq/QNEsc10/historia.pdf>. (acesso em 09/08/2021).



- **Texto 2: A radioatividade e a história do tempo presente: Considerações finais** (Sugerida a leitura das páginas 29 e 30). Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a08.pdf>. (acesso em 09/08/2021).



- **Texto 3: Apostila Educativa Radioatividade**, de CARDOSO e demais colaboradores (2012), da Comissão Nacional de Energia Nuclear, os seguintes itens, disponível no link abaixo: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/avulsos/apostila-educativa-aplicacoes-pdf/view> (acesso em 09/08/2021).

- **Isótopos:** Sugerida a leitura da página 11;
- **Radioatividade e partículas:** Sugerida a leitura das páginas 15 e 16;

- **Datação:** Sugerida a leitura da página 46;



- Vídeo: Tudo se Transforma, Radiações, Marie Curie (12min); disponível no Link: <https://www.youtube.com/watch?v=tO3QMblAhRI> acesso em 07/10/2021.



**Para a próxima conferência:** utilizando o método da aula invertida (conforme explicado no infográfico seguinte), o professor recomendará previamente aos alunos que façam as leituras de forma mais atenta e minuciosa dos textos acima, assistam ao vídeo e também solicitará aos alunos que tragam o telefone celular, para que, conectado à internet, possa ser usado no jogo/game *Kahoot*.

A aula invertida pode ser entendida a partir do seguinte esquema:



Fonte: Autoria Própria

**Conversa de Professor:** Essa aula deve promover no aluno a vontade de compreender mais sobre a radioatividade e os elementos que a tornam um conhecimento vantajoso para os diagnósticos da saúde ou um risco de contaminação se usado de maneira inadequada. O Professor é o motivador dessa formação, o que requer pesquisa de elementos prévios e formação do professor, é ele o profissional preparado para despertar a curiosidade que promove a busca desse conhecimento.

## Referências

CARDOSO, Eliezer de Moura. (org). A energia nuclear. **Apostila Educativa Radioatividade**. Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN. 3.ed.- Rio de Janeiro: CNEN, 2012. 52 p. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/avulsos/apostila-educativa-aplicacoes-pdf/view> Último acesso em 09/08/2021.

MEDEIROS, Alexandre. **Aston e a descoberta dos isótopos**. História da Química. Química Nova na Escola. N.º 10. 1999. Disponível em: <http://webeduc.mec.gov.br/portaldoprofessor/quimica/sbq/QNEsc10/historia.pdf>. Último acesso em 09/08/2021.

MERÇON, Fábio. QUADRAT, Samantha Viz. **A radioatividade e a história do tempo presente**. Revista Eletrônica de Jornalismo Científico. 2015. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a08.pdf> . Último acesso em 09/08/2021.

- Vídeo: Tudo se Transforma, Radiações, Marie Curie; disponível no Link: <https://www.youtube.com/watch?v=tO3QMblAhRI> acesso em 07/10/2021.

<https://www.google.com/intl/pt-BR/forms/about/>

<https://www.mentimeter.com/pt-BR>

## AULA 2 – Radioatividade e Gamificação – Kahoot

<b>TEMPO</b>	01 aula (50min)
<b>OBJETIVOS</b>	
<b>Geral</b>	<b>Específicos</b>
Abordar os conteúdos referentes à Radioatividade.	- Identificar as correlações entre a história e o conceito da Radioatividade.

Quadro 3 - Objetivos. Fontes: autoria própria.

<b>CONTEÚDOS</b>	<b>Conceituais</b>	Analisar a organização e a estrutura de um átomo considerado estável e/ou instável, bem como suas interações acerca da radioatividade.
	<b>Procedimentais</b>	Interagir com os alunos, por meio de uma aula invertida e de um aplicativo; avaliar os conhecimentos e aplicar os conteúdos aprendidos.
	<b>Atitudinais</b>	Construir a compreensão do conhecimento sobre radioatividade e seus conteúdos correlacionados.

Quadro 4 - Conteúdos. Fontes: autoria própria.

### 1. Apresentação

A proposta dessa aula consiste em dois momentos:

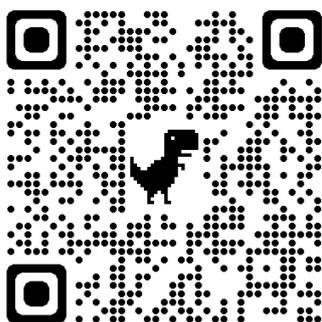
a) Criar um ambiente virtual de gamificação usando o aplicativo *Kahoot (Quiz Interativo)*, em que os alunos poderão consolidar a aprendizagem por meio da interação com os demais, estimulando a utilização das tecnologias e mídias digitais para uma competição saudável entre eles. As aulas realizadas com a utilização de *Quiz* interativo apresentam-se como uma oportunidade de se construir conhecimentos utilizando jogos interativos que permita aos alunos construir conhecimentos e realizar pesquisas que respondam às dúvidas que os mesmos possam ter em relação ao conteúdo e aos conceitos de radioatividade.

b) Projeção de vídeos sobre a História da Radioatividade (Mundial) e do Acidente Radioativo ocorrido em Goiânia/GO (Brasil - 1987), e, a partir deles, mediação do professor em um debate entre os alunos.

## 2. Desenvolvimento

Sugere-se ao professor criar um jogo por meio do aplicativo Kahoot, sendo uma forma de atrair a atenção dos alunos para que participem da aula virtualmente e simultaneamente com os demais da turma, respondendo às questões referentes aos textos indicados na aula anterior.

Para criar o jogo, o professor precisa acessar o site do aplicativo disponível no link: <https://kahoot.com/> e caso tenha dúvidas, poderá acessar o tutorial, disponível no Canal do site Youtube **DeProfPraProf**, disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=6MWUMYmAlmo>.



Para que os alunos possam jogar simultaneamente, deverão entrar no site <https://kahoot.it/>, e acessar com uma senha ou pin específico do jogo. Já dentro do ambiente, eles encontrarão um game em que será mostrada a pergunta e um tempo limite dado pelo professor para que respondam as perguntas de acordo com o conhecimento adquirido na leitura dos textos. A cada resposta dada é apresentado aos alunos se acertou ou errou automaticamente, e ainda será mostrado um ranking de qual deles está com maior número de respostas corretas.

Como sugestão, seguem as perguntas para a criação do jogo, ressaltando que no ambiente, ao criar o jogo, o professor precisa marcar qual será a opção correta. Aqui, as opções corretas serão destacadas em *itálico*.

**1) Pode-se definir como isótopos:**

- Átomos com massas atômicas diferentes, porém com números atômicos iguais*
- Átomos com mesmo número de nêutrons e mesmo número de massa*
- Átomos que emitem energia elétrica*
- Átomos que sempre geram partículas alfa*

**2) A massa de um átomo é constituída de?**

- Prótons e nêutrons*
- Nêutrons e Elétrons*
- Prótons e Elétrons*
- Somente de Prótons*

**3) Partículas com carga positiva +2 e número de massa 4, chamados de núcleos de Hélio também são chamados de?**

- Radiação Alfa*
- Radiação Beta*
- Partículas de alto impacto*
- Partículas Neutrinas*

**4) Que elemento radioativo é comumente procurado para datar o tempo de existência de um fóssil ou um achado arqueológico?**

- Carbono-14*
- Carbono-12*
- Núcleo de Hélio*
- Berílio*

**5) Comumente, que nome recebe o fenômeno que descreve um núcleo instável de um átomo que emite ondas e partículas na tentativa de atingir sua estabilidade?**

- Radioatividade*
- Tempo de meia vida*
- Isótopos*
- Curva de decaimento*

**MOMENTO B)** O professor irá mediar um debate em aula, a partir do vídeo que será projetado nesse momento da aula, bem como do vídeo solicitado na aula anterior:

1. Vídeo: Césio 137 em Goiânia: a cronologia do maior desastre radiativo do Brasil (10min); disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=4xcZQ9ufxfk> acesso em 07/10/2021.



Os alunos deverão arguir acerca das questões que o professor irá apresentar no decorrer do debate:

- Tanto há cem anos como na atualidade as informações e os conhecimentos acerca da radioatividade eram iguais? O que mudou?
- Hoje em dia milhares de pessoas devem a vida aos efeitos da radioterapia. Quem foram as primeiras pessoas a estudar esses efeitos radioativos, que tem inclusive, aplicação médica?
- Madame Curie, como era conhecida Marie Curie, foi laureada com dois prêmios Nobel, o primeiro em física e o segundo em química. Pela perspectiva histórica da época em que ela viveu, associado ao fato de ser mulher, era relativamente fácil ou difícil estudar, trabalhar e colocar em prática os conhecimentos científicos que ela mesma estava ajudando a descobrir? Comente sobre sua resposta.
- A população de modo geral, hoje, pode ter mais informação no que diz respeito a radioatividade? E conhecimento?
- Uma vez confirmado que hoje se tem mais informações sobre radioatividade, a população de modo geral trata o assunto radioatividade com maior ou menor interesse que tratava no passado?
- Nos dias atuais as pessoas estão mais preparadas para lidarem com possíveis acidentes que envolvam materiais radioativos?
- Como seria possível justificar que o assunto Radioatividade além de ser Técnico também pode ser considerado um tema Ético?

Esses procedimentos investigativos devem promover a criticidade do aluno, bem como uma maturidade científica, por meio de conjunturas históricas e as que se apresentam nos dias atuais para melhor poder se posicionar e atuar num futuro próximo. O professor poderá solicitar que os alunos façam uma pesquisa a fim de identificarem os diversos usos da radioatividade na saúde, na geração de energia, na arte, na história, nos alimentos, nos materiais bélicos, entre outros, e confeccionem painéis ou cartazes para serem fixados nas dependências do colégio.

### Referências:

DeProfPraProf, [KAHOOT: Como usar nas aulas presenciais ou online - YouTube](https://www.youtube.com/watch?v=6MWUMYmAlmo)  
Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6MWUMYmAlmo> Acesso em 12/08/2021.

CARDOSO, Eliezer de Moura. (org). **Apostila Educativa Radioatividade**. Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN. Disponível em: [https://www.inf.unioeste.br/~reginaldo/FisicaModerna/reginaldo/apostila\\_cnen1.pdf](https://www.inf.unioeste.br/~reginaldo/FisicaModerna/reginaldo/apostila_cnen1.pdf). Último acesso em 09/08/2021.

MEDEIROS, Alexandre. **Aston e a descoberta dos isótopos**. História da Química. Química Nova na Escola. N.º 10. 1999. Disponível em: <http://webeduc.mec.gov.br/portaldoprofessor/quimica/sbq/QNEsc10/historia.pdf>. Último acesso em 09/08/2021.

MERÇON, Fábio. QUADRAT, Samantha Viz. **A radioatividade e a história do tempo presente**. Revista Eletrônica de Jornalismo Científico. 2015. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc19/a08.pdf> . Último acesso em 09/08/2021.

### Vídeo:

1. Césio 137 em Goiânia: a cronologia do maior desastre radiativo do Brasil; disponível no link: <https://www.youtube.com/watch?v=4xcZQ9ufxfk> acesso em 07/10/2021.

## AULA 3 – Isótopos.

<b>TEMPO</b>	01 aula (50min)
<b>OBJETIVOS</b>	
<b>Geral</b>	<b>Específicos</b>
Compreender e aplicar os conceitos referentes aos isótopos	Utilizar o aplicativo <b>Isótopos e Massa Atômica</b> a fim de realizar experiências interativas para que o discente avalie conceitos relacionados aos isótopos.

Quadro 5 - Objetivos. Fontes: autoria própria.

<b>CONTEÚDOS</b>	<b>Conceituais</b>	Compreender as estruturas atômicas e reconhecer as subpartículas atômicas, diferenciar e representar os isótopos.
	<b>Procedimentais</b>	Por meio de um simulador, aplicar o conceito de isótopos, criar modelos das subpartículas atômicas.
	<b>Atitudinais</b>	Promover um momento em que, virtualmente, o discente possa aplicar os conceitos aprendidos sobre os isótopos.

Quadro 6 - Conteúdos. Fontes: autoria própria.

### 1. Apresentação

O professor irá usar o aplicativo **Isótopos e Massa Atômica**, do site “PHET INTERACTIVE SIMULATIONS”, que é um site em que os usuários podem encontrar simuladores para experimentos que abordam conteúdos diversos.

### 2. Desenvolvimento

O professor pode solicitar que os discentes utilizem seus celulares ou notebook para acessar o link [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/isotopes-and-atomic-mass](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/isotopes-and-atomic-mass) do simulador selecionado (caso perceba que não são todos os discentes que possuem

tais equipamentos, pode solicitar que façam em duplas ou grupos), orientando os mesmos de como proceder para utilização do aplicativo.

Na Figura 1, tem-se um tutorial de utilização do simulador, para instrução dos alunos que o utilizarão. No 1º passo, os alunos deverão acessar o link [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). No 2º passo, acionar o ícone de **QUÍMICA**, dentre as várias áreas do conhecimento que ali se apresentam. No 3º passo, conforme aponta a seta vermelha, deve-se selecionar o Simulador desejado, no caso dessa aula, **Isótopos e Massa Atômica**, em que os alunos terão a experiência de formar novos isótopos, podendo ver sua estabilidade ou instabilidade, bem como, a sua abundância na natureza.

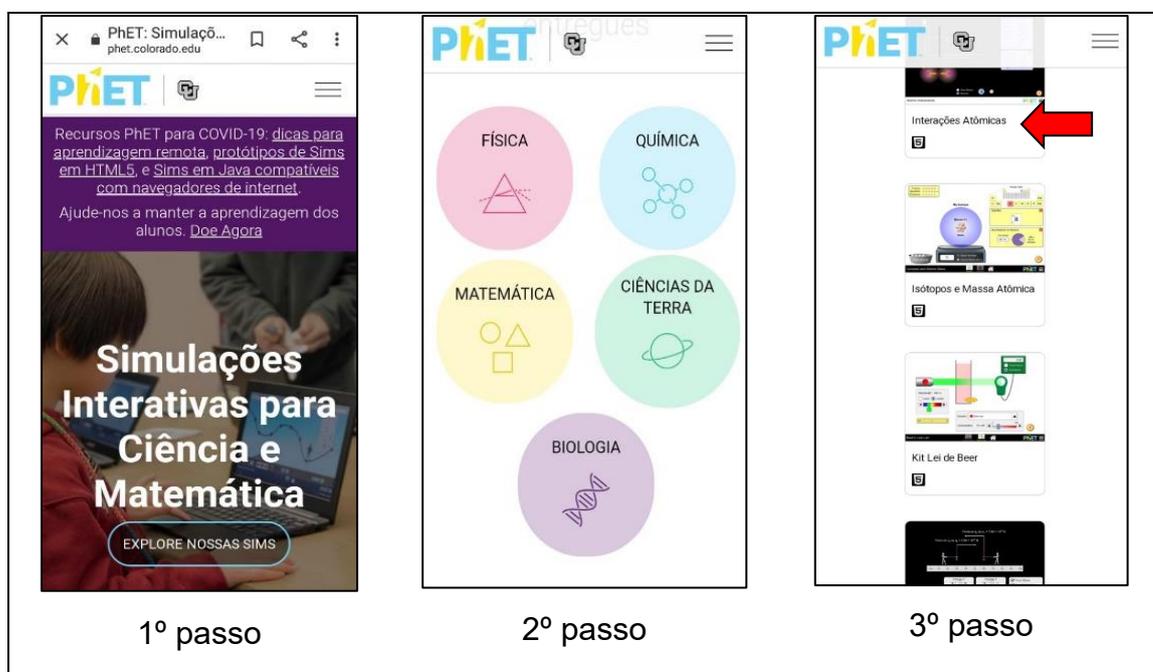


Figura 1. Tutorial de utilização do simulador.

### 3. Roteiro de Investigação

Uma vez no simulador, o professor deverá solicitar aos alunos que cliquem no ícone **Isótopos**, conforme mostra a Figura 2, e que interajam a fim de obter as respostas das seguintes perguntas:

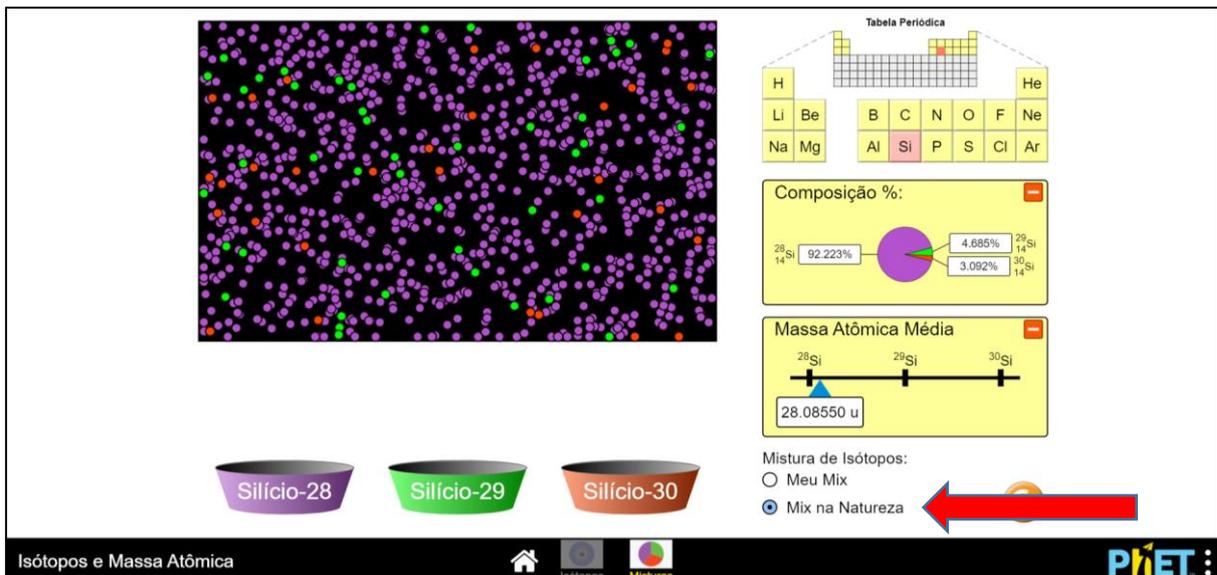


**Figura 2.** Ambiente do Simulador, onde os alunos devem escolher o ícone *isótopos*.

- Qual a abundância em porcentagem na natureza dos isótopos do hidrogênio que possuem número de massa atômica 1, 2, 3, e 4 respectivamente? Quais deles são estáveis e quais são instáveis?
- Descrever as notações científicas dos isótopos dos hidrogênios que visualizaram na investigação anterior.
- Qual a maior massa possível que o átomo de berílio pode apresentar estando estável?
- Que número de massa atômica e que número atômico deve apresentar o átomo de Neônio que é responsável por 0,27% desse elemento na natureza?

Anotadas as devidas investigações, na próxima etapa, os alunos deverão escolher o ícone **Misturas** e, em seguida, selecionar o item **Mix na Natureza (Figura 3)**, respondendo as próximas perguntas investigativas:

- a) Qual a porcentagem do Hélio-3 e do Hélio-4 encontrados?
- b) Quantos tipos de isótopos do Berílio a natureza apresenta?
- c) Qual a quantidade de nêutrons dos respectivos isótopos do Oxigênio?



**Figura 3.** Mix na natureza, no ambiente do Simulador.

Após os alunos devem selecionar o item **meu mix**, conforme indicado na Figura 4 e responder as seguintes questões:

- Qual a quantidade de átomos de Carbono-12 e de Carbono-13 deverão ser utilizados para que a composição em porcentagem se assemelhe ao encontrado em “Mix na Natureza”?
- Qual a massa atômica média dos isótopos de Cloro será visualizada quando for acrescentado 75 átomos de Cloro-35 e 25 átomos de Cloro-37?

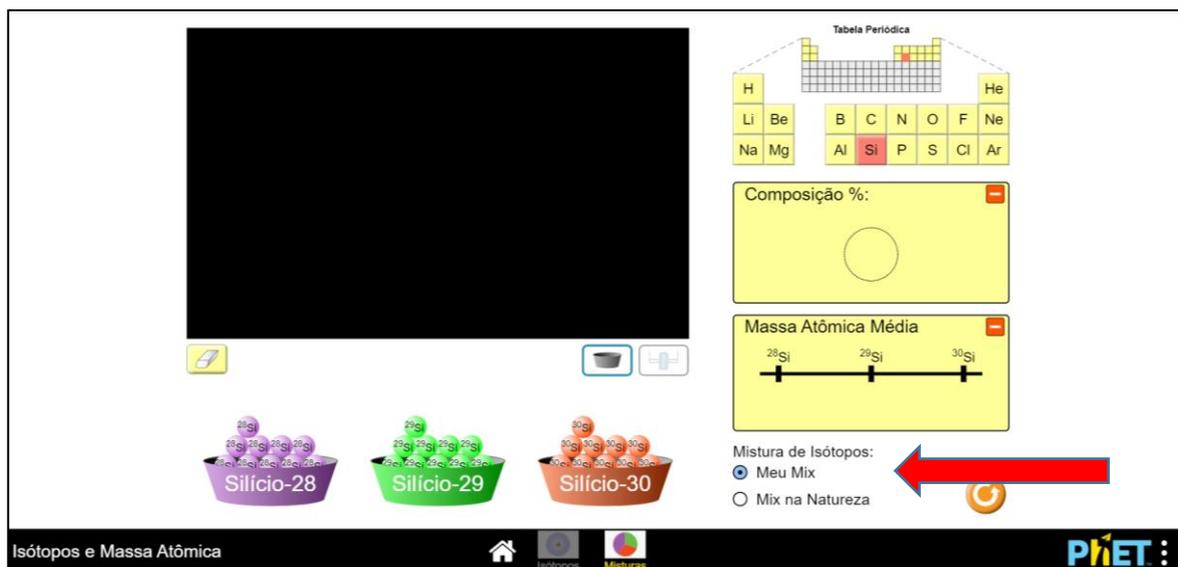


Fig. 4. Meu Mix, no ambiente do Simulador.

**Conversa de Professor:** Esses procedimentos investigativos devem promover a reflexão sobre o papel dos isótopos dentro dos estudos relacionados à radioatividade. Essa aula tem o intuito de criar a construção dos conhecimentos de maneira lúdica; construída pelos próprios alunos. O professor poderá solicitar que os alunos formem grupos para juntos criarem um curta metragem com o tema “Isótopos na medicina”, para ser apresentado numa outra aula ou momento ou ainda postado em alguma mídia que por ventura o colégio possua.

**Para a próxima aula:** O professor irá enviar o link do texto abaixo para leitura, estudo e pesquisa; bem como solicitará os materiais para trabalhar em sala de aula:

- “A química do tempo”, de Farias (2002), disponível no link:

<http://qnint.s bq.org.br/novo/index.php?hash=conceito.44>



- Materiais a serem utilizados: duas tiras coloridas de papel 1,5m x 2,5cm cada. Uma folha de papel rígido (aproximadamente 1,6m x 1m), tesoura, cola, fita métrica, lápis de escrever.

## Referências

[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/isotopes-and-atomic-mass](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/isotopes-and-atomic-mass) Último acesso em 10/08/2021.

FARIAS; Robson Fernandes de. A química do tempo. **Química Nova na Escola**. n° 16, pág. 6, novembro 2002. Disponível em: <http://qnint.sbq.org.br/novo/index.php?hash=conceito.44> último acesso em 20/09/2021.

## AULA 4 – Construindo um gráfico de decaimento radioativo

<b>TEMPO</b>	01 aula (50min)
<b>OBJETIVOS</b>	
<b>Geral</b>	<b>Específicos</b>
Identificar e aplicar o conceito de meia vida.	- Analisar o decaimento radioativo e a meia vida de um núcleo radioativo. - Criar gráficos que representem as curvas de decaimento radioativo

Quadro 7 Objetivos. Fontes: autoria própria.

<b>CONTEÚDOS</b>	<b>Conceituais</b>	Avaliar os parâmetros conceituais da meia vida de um núcleo radioativo, métodos de datação de um objeto ou corpo.
	<b>Procedimentais</b>	Interagir com os alunos e confeccionar um gráfico com materiais concretos, palpáveis e de forma alternativa.
	<b>Atitudinais</b>	Correlacionar escalas para criar a analogia entre os conceitos que envolvem radioatividade e tempo de meia vida.

Quadro 8 Conteúdos. Fontes: autoria própria.

### 1. Apresentação

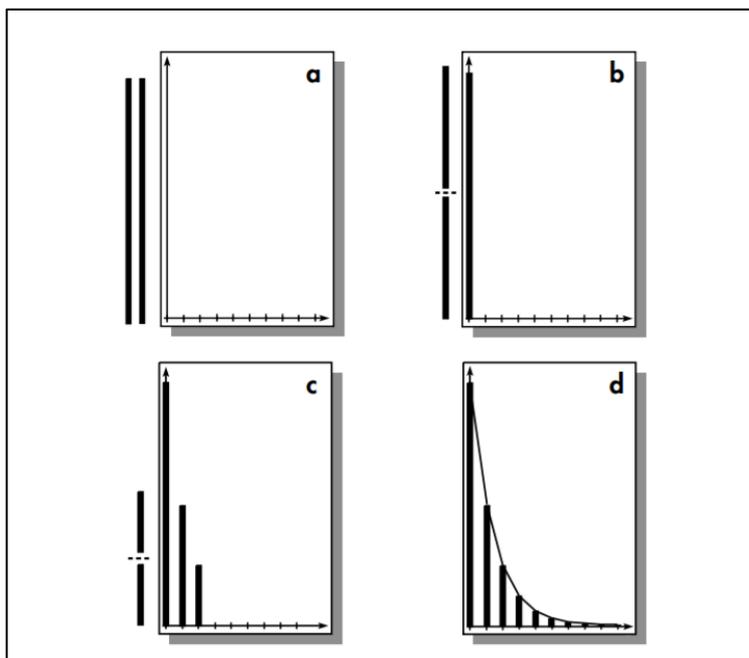
Esta é uma aula adaptada do artigo “*Radioactivity in the Classroom*”, de Hughes e Zalts (2000), (disponível no QR Code abaixo) em que os alunos terão a oportunidade de adquirir conhecimentos acerca do conteúdo de tempo meia vida e o decaimento radioativo e aplicar de forma concreta por meio da construção de um gráfico, os conceitos que envolvem a datação por Carbono-14.



## 2. Desenvolvimento

Em sala de aula, formando grupos de 5 pessoas, os alunos confeccionarão um gráfico do decaimento radioativo em função do tempo de meia vida do Carbono-14, com os materiais solicitados previamente, utilizando as explicações, espera-se que os gráficos confeccionados pelos alunos se apresentem de forma semelhante ao ilustrado na Figura 1, seguindo o passo a passo:

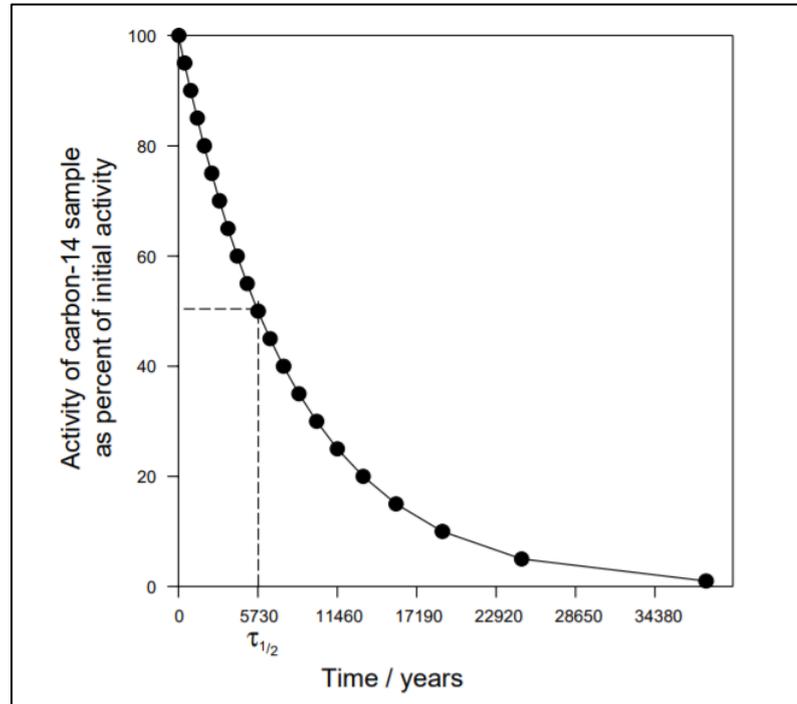
- Passo 1: Desenhe um conjunto de eixos x, y no papel rígido, a aproximadamente 5 cm das bordas.
- Passo 2: Na abcissa, faça marcas a cada 10 cm (Fig. 1 a).
- Passo 3: Cole uma das tiras sobre a ordenada.
- Passo 4: Dobre a outra tira ao meio, marcando cuidadosamente o meio. Corte de modo a obter duas tiras mais curtas de 75 cm cada (Fig. 1 b).
- Passo 5. Cole uma dessas tiras verticalmente sobre a primeira marca na abcissa.
- Passo 6. Pegue a metade restante; dobre e corte em dois.
- Passo 7. Cole um deles sobre a próxima marca (Fig. 1 c).
- Passo 8. Repita as etapas 6 e 7 até que a última tira também seja pequeno para manusear corretamente. Deve haver 8 ou 9 tiras coladas para o gráfico.



**Figura 1** - Construção do gráfico passo a passo.

Fonte: HUGHES E ZALTS (2000).

Após a construção do gráfico, o professor poderá pedir aos alunos que ajustem o gráfico, o qual se apresentará o mais próximo possível ao da Figura 2.



**Figura 2** -Curva de Decaimento Radioativo do Carbono-14.

Fonte: HUGHES E ZALTS (2000).

### 3. Roteiro de Investigação

No desenvolvimento da atividade, sugere-se ao professor apresentar resumidamente, as equações que descrevem o decaimento radioativo. O decaimento radioativo pode ser expresso pela equação 1, (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016):

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

Em que  $N$  é o número de átomos de um elemento químico,  $t$  representa o tempo, contado a partir do momento inicial em que se tinha  $N_0$  átomos (quantidade inicial) e  $k$  é a constante de decaimento radioativo do isótopo em questão. Essa

expressão vale tanto para o número de átomos quanto para a massa ou o volume da amostra, pois todas essas grandezas são diretamente proporcionais.

Uma das definições para o estudo do decaimento radioativo é a seguinte, a velocidade de desintegração  $v$  está diretamente relacionada à quantidade  $N$  de átomos de um material radioativo. Assim, sempre que relacionamos essas duas grandezas, o resultado é uma constante, denominada constante radioativa  $k$ .

$$k = \frac{v}{N} \quad (2)$$

Portanto, a velocidade de desintegração é a relação entre o número de átomos e a variação de tempo, assim é possível afirmar que a constante radioativa indica a fração de átomos de um determinado isótopo radioativo, em uma dada unidade de tempo. Outra característica da cinética radioativa é a intensidade radioativa  $I$ , que está diretamente relacionada à quantidade de partículas alfa e beta emitidas por um isótopo radioativo durante determinado tempo.

Dessa forma, trata-se de uma propriedade diretamente relacionada à constante radioativa  $k$  e ao número de átomos  $N$  do isótopo radioativo. Conforme a equação 3.

$$I = k \cdot N \quad (3)$$

Com essas informações podemos definir que, quanto maior o número de átomos, maior será a massa da amostra radioativa, conseqüentemente, maior será a intensidade radioativa, e, maior será a quantidade de radiações alfa e beta emitidas.

Outra definição importante para o nosso estudo é o conhecimento da Vida média  $V_m$ , essa propriedade cinética radioativa indica o tempo necessário que os átomos de certo isótopo radioativo levam para desintegrar-se. Isso significa que a vida média é o inverso da constante radioativa conforme é apresentado a seguir:

$$V_m = \frac{1}{k} \quad (4)$$

Para esse conceito é importante ter bem definido que a vida média não especifica o tempo que um átomo do isótopo leva para desintegrar, e sim o tempo que

um grande número de átomos leva para desintegrar-se, estatisticamente essa é a informação que vamos precisar para o estudo do decaimento no simulador.

A atividade de uma amostra radioativa (A) é a quantidade de átomos que sofrem desintegração na unidade de tempo (equação 5),

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad (5)$$

O uso do cálculo integral permite demonstrar os passos apresentados nas equações anteriores, definindo assim a lei da desintegração radioativa seja expressa de forma genérica em termos de atividade (equação 6):

$$N = N_0 \cdot e^{\frac{(-0,693 \cdot t)}{t_{\frac{1}{2}}}} \quad (6)$$

Em que  $t_{\frac{1}{2}}$  é o tempo de meia-vida do elemento químico. Essa equação pode ser definida partindo das leis das velocidades, utilizando-se das ferramentas matemáticas, o professor pode definir a sua origem no quadro caso assim desejar.

### **Atividade 1:**

O professor deverá aplicar aos alunos a seguinte questão:

*Partindo das informações obtidas no gráfico da figura 2, e com base na primeira meia vida do Carbono-14, calcular a taxa da constante de desintegração utilizando a equação (1).*

Resolvendo, temos a equação (1):

$$N = N_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

E as informações coletadas se referem a:

$$N = 50$$

$$N_0 = 100$$

$$t = 5730$$

$$k = ?$$

Resolvendo temos:

$$50 = 100 \cdot e^{-k \cdot 5730}$$

$$\frac{50}{100} = e^{-k \cdot 5730}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-k \cdot 5730}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -k \cdot 5730$$

$$-0,693 = -k \cdot 5730$$

$$\frac{0,693}{5730} = k$$

$$k = 1,2 \times 10^{-4} \text{ átomos/anos}$$

Obtêm-se a taxa da constante de desintegração do Carbono-14  $k = 1,2 \times 10^{-4}$ . Esse valor encontrado, deve ser frisado, já que se trata de uma constante específica dessa substância e os alunos irão utilizar ela na sequência das investigações.

### **Atividade 2:**

O professor poderá ainda solicitar aos alunos que resolvam a nova atividade:

*Partindo das informações do gráfico da figura 2 e levando em consideração a constante  $k$  encontrada no exercício anterior, e tendo como base uma amostra de cem partículas, calcular o tempo de decaimento que esta amostra leva até chegar a dez por cento das partículas restantes.*

Para solucionar a atividade, partimos da equação que descreve o decaimento radioativo:

Resolvendo, temos a equação (1):

$$N = N_0 \cdot e^{-k \cdot t}$$

E as informações coletadas se referem a:

$$N = 10$$

$$N_0 = 100$$

$$t = ?$$

$$k = 1,2 \times 10^{-4}$$

Resolvendo temos:

$$10 = 100 \cdot e^{-1,2 \times 10^{-4} \cdot t}$$

$$\ln \frac{10}{100} = -1,2 \times 10^{-4} \cdot t$$

$$\ln 0,1 = -1,2 \times 10^{-4} \cdot t$$

$$-2,3 = -1,2 \times 10^{-4} \cdot t$$

$$\frac{2,3}{1,2 \times 10^{-4}} = t$$

$$t = 19167 \text{ anos}$$

Logo obtêm-se o resultado aproximado de tempo em 19167 anos.

**Conversa de Professor:** Esses procedimentos investigativos auxiliam os alunos a compreenderem gráficos e escalas e analisar possíveis problemas propostos de cunho conceitual sobre radioatividade e tempo de meia vida, e de forma concreta e muito mais próxima da realidade, estimarem possíveis datações. O professor poderá em outras circunstâncias solicitar aos alunos que pesquisem a respeito do fóssil chamado “Luzia” e perguntar qual a sua importância para a ciência mundial.

## Referências

FARIAS; Robson Fernandes de. A química do tempo. **Química Nova na Escola**. n° 16, pág. 6, novembro 2002.

HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. **Fundamentos de física:** óptica e física moderna; (Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi). - 10. ed. - Rio de Janeiro : LTC, 2016.

HUGHES; Enrique A. ZALTS; Anita. *Radioactivity in the Classroom*, **Journal of Chemical Education**. Vol. 77 N° 5. May 2000.

**AULA 5 - Trabalhando o decaimento radioativo beta: conceito de meia vida por simulação interativa PHET.**

<b>TEMPO</b>	02 aulas (50min cada)
<b>OBJETIVOS</b>	
<b>Geral</b>	<b>Específicos</b>
Compreender e analisar as principais características dos elementos radioativos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compreender e analisar massa atômica.</li> <li>- Analisar e criar modelos de isótopos.</li> <li>- Avaliar as radiações: alfa, beta e gama.</li> <li>- Criar graficamente o decaimento radioativo e a meia vida de um núcleo radioativo.</li> </ul>

Quadro 9 Objetivos. Fontes: autoria própria.

<b>CONTEÚDOS</b>	<b>Conceituais</b>	Compreender e avaliar as estruturas atômicas e organização das cargas elementares, interações da radiação com os diversos tipos de materiais, ler e criar graficamente o decaimento de uma massa radioativa, avaliar as unidades de medidas para radiação.
	<b>Procedimentais</b>	Por meio de um simulador, analisar as características dos elementos químicos radioativos, suas formas de mutação, valor energético liberado durante o decaimento, criar modelos e formas matemáticas para emissão das radiações alfa, beta, gama e assim como a meia vida de um núcleo radioativo.
	<b>Atitudinais</b>	Avaliar a fundamentação da evolução das ciências para correlacionar com as aplicações e inovações tecnológicas.

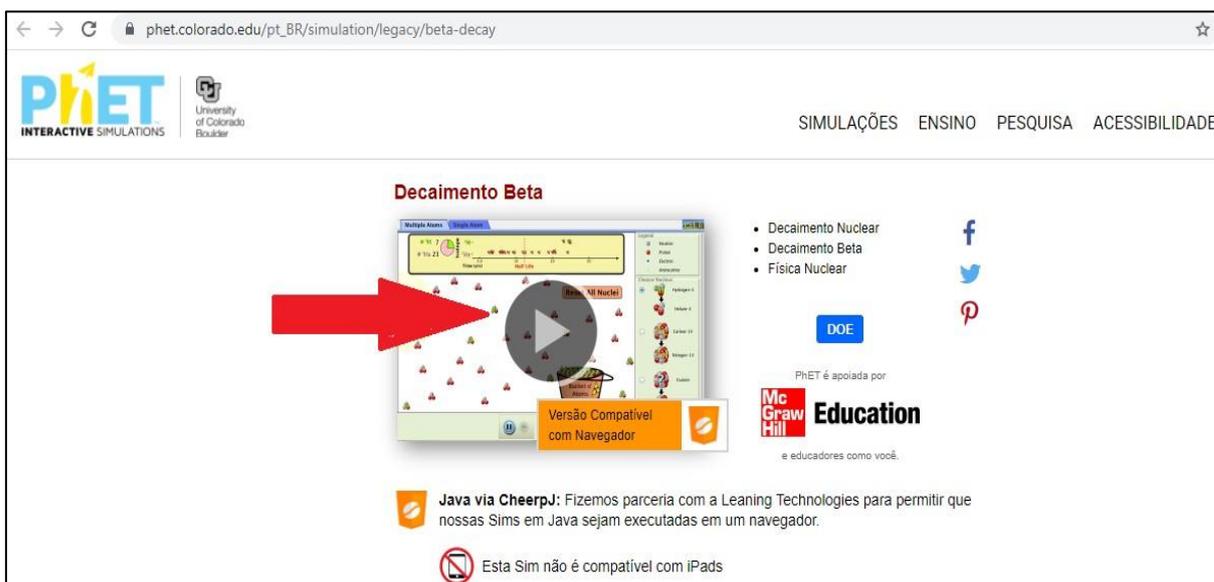
Quadro 10 Conteúdos. Fontes: autoria própria.

## 1. Apresentação

Esta atividade tem como proposta analisar decaimento radioativo utilizando um simulador como ferramenta facilitadora do ensino aprendizagem em sala de aula, visando proporcionar uma aula interativa e investigativa, na qual o discente passa ser responsável direto pelo seu aprendizado e o professor atua como um mediador do processo.

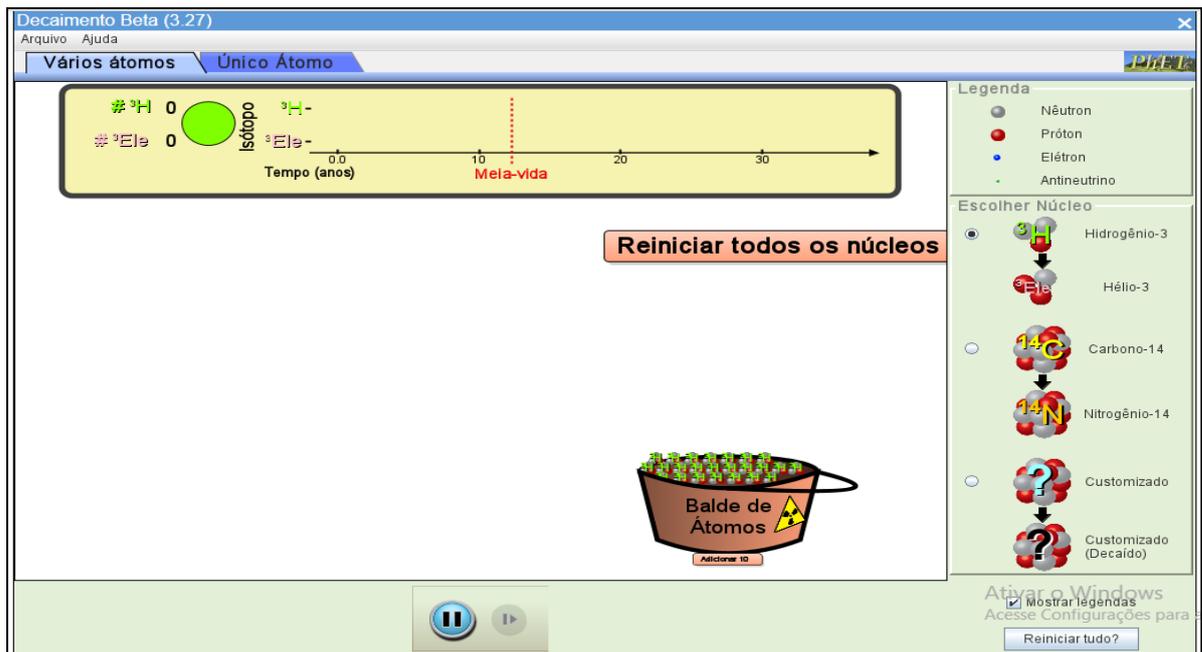
O recurso de ensino aprendizagem utilizado nesta aula pode ser encontrado no site: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). Os professores e discentes podem ter acesso a simuladores específicos das diversas áreas da ciência, além de dicas para utilização dos mesmos.

O simulador utilizado para esta aula é: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/beta-decay](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/beta-decay). Ao ter acesso ao site aparecerá uma imagem, conforme a Figura 1, na qual deve-se clicar para começar a atividade e o discente pode acessar informações do início da investigação do simulador.



**Figura 1:** Imagem da página de acesso ao simulador.

Conforme a Figura 2, o discente visualizará quais são as ferramentas e possibilidades do uso do simulador durante a aula. Para o estudo deve-se considerar a aba "Vários átomos".



**Figura 2:** Layout de início da simulação

A seguir, encontra-se uma breve descrição para utilização do aplicativo, conforme a **Figura 3**:

- **Marcação 1** (seta vermelha): Na parte inferior da tela, encontra-se uma figura descrita como **Balde de átomos**, que pode ser acessado por meio de um clique. Conforme for a necessidade, o usuário deverá clicar no balde para que sejam adicionados mais dez átomos. Podem ser acrescentados mais átomos até descarregar todo o balde, pois são esses átomos retirados do balde que serão as referências para desenvolver o conceito de meia vida.

- **Marcação 2** (seta verde): Na parte inferior, encontram-se dois ícones, sendo o primeiro de avançar e/ou pausar e o segundo só pode ser usado quando “a reação” estiver em pausa, pois esse faz o simulador avançar somente durante os cliques. É um recurso que o professor pode utilizar para apresentar a partícula emitida durante o decaimento.

- **Marcação 3** (seta azul): No lado superior direito, o quadro legenda informa a cor de referência para cada elemento que forma o átomo, exemplo na cor vermelha o próton, logo abaixo existe um quadro chamado escolher núcleos, que informa quais são os núcleos que podem ser utilizados. Note que existem dois núcleos conhecidos e suas respectivas mutações durante o decaimento. O terceiro núcleo do mesmo

quadro possui um ponto de interrogação, ou seja, é aquele que o professor pode definir qual será a meia vida e assim problematizar com os alunos.

- **Marcação 4** (seta amarela): No canto inferior direito encontra-se o ícone de reiniciar tudo que volta para a configuração inicial do simulador. Logo acima desse tem-se o item mostrar legendas que indica a formula molecular do elemento químico.

- **Marcação 5** (seta roxa): O quadro na parte superior informa sobre o isótopo e seu tempo de meia vida. Assim, é possível acompanhar quantos átomos decaíram e quantos ainda restam, podendo também ser trabalhado o conceito de probabilidade e de média de isótopos decaindo.

- **Marcação 6** (seta preta): Utilizando o botão preto e vermelho, pode-se reiniciar todos os núcleos e, cada vez que é clicado, se inicia uma nova contagem com o mesmo número de átomos.

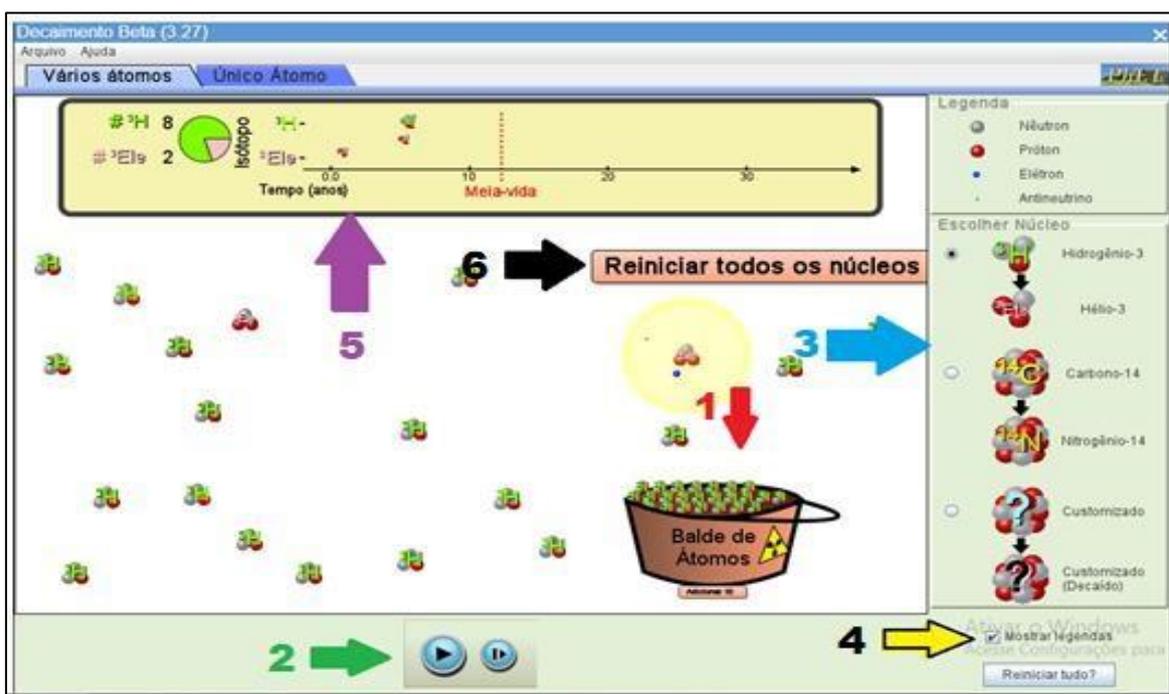


Figura 3: Marcação das informações referentes às ferramentas do simulador.

#### 4. Desenvolvimento da investigação

O usuário do simulador, ao inicia-lo deve procurar utilizar a maior quantidade de átomos possíveis, no caso, 100 átomos. Inicia-se o simulador na seta (2), conforme a Figura 3, de início (play). Caso tenha perdido a contagem, poderá reiniciar a simulação clicando no botão reiniciar todos os núcleos na seta (6).

É necessário acompanhar a simulação na barra onde informa o número de isótopos que sofrem mutação em função do tempo do decaimento. A barra que indica o tempo da meia vida pode ser dividida em intervalos de tempo menores, conforme mostrado na Figura 4. Para esses intervalos é utilizado o botão de pausa e executado a contagem de núcleos que sobraram não decaídos. O professor deve destacar para os discentes que será utilizada uma aproximação do tempo e, com isso, os valores serão aproximados. A Figura 4 descreve as etapas do decaimento do Hidrogênio-3: na primeira etapa (A) é apresentado um tempo próximo a 5 anos, restando 79 átomos; na segunda etapa (B) o tempo de meia vida é descrito em aproximadamente 12,5 anos, restando 43 átomos, um pouco menos da metade; e na última etapa (C), é apresentado o segundo tempo de meia vida, restando assim 19 átomos.

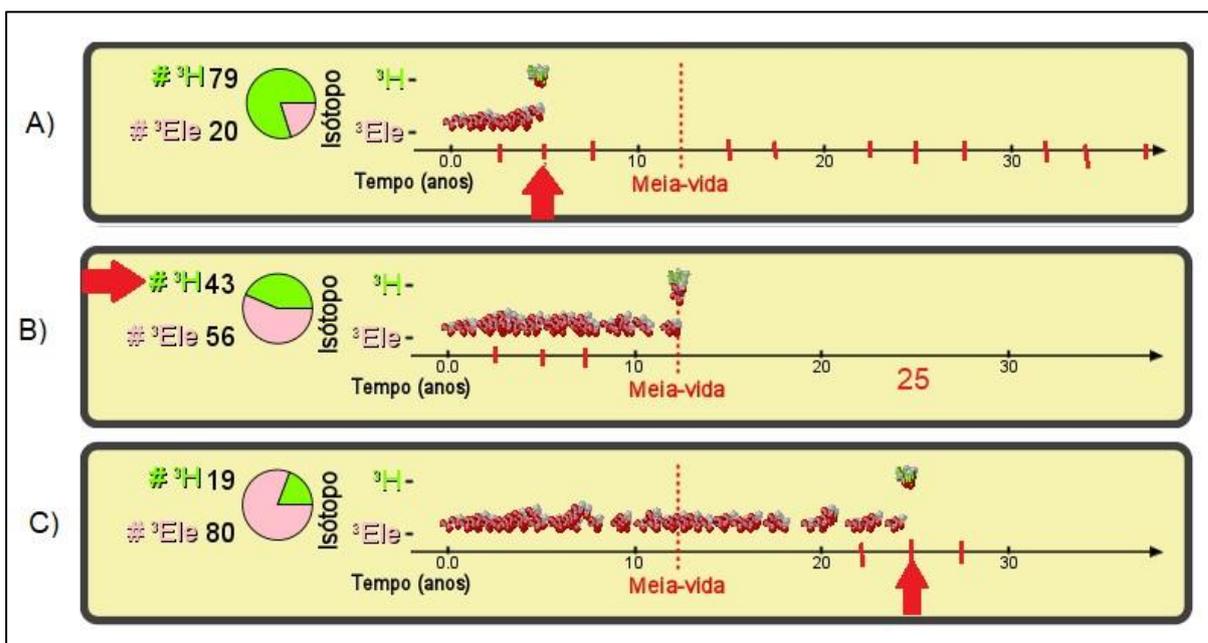


Figura 4: Etapas do decaimento do hidrogênio-3.

## 5. Análise das informações coletadas do simulador

Nessa etapa o professor deve realizar com os alunos as atividades sugeridas no Roteiro de investigação, (vide Tópico 4 desta aula), explorando o simulador sobre o decaimento beta apresentado anteriormente.

Essa atividade pode ser realizada de maneira individual ou em dupla, caso o professor opte por outra dinâmica de trabalho, pode solicitar aos alunos que levem os

celulares ou, se existir sala de informática da escola, a atividade pode ser realizada em grupos de 3 ou 4 alunos, dependendo do número de computadores disponíveis.

Ao explorar o simulador, dependendo de onde eles colocarem a seta, os alunos podem encontrar valores muito próximos aos descritos na Tabela 1.

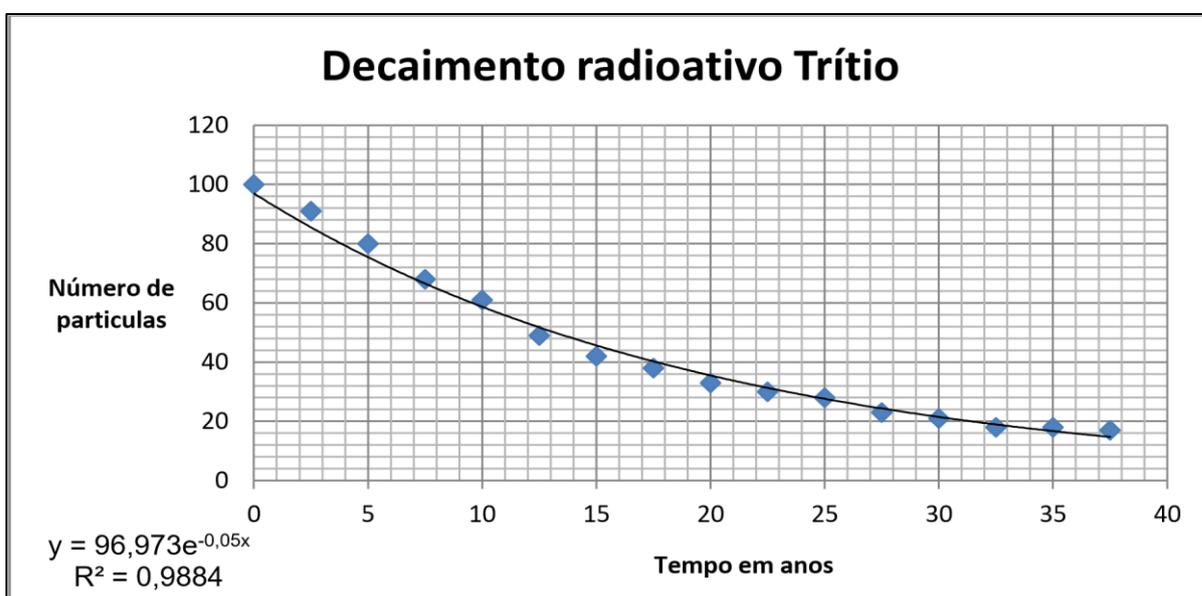
Vale ressaltar que o elemento Trítio é isótopo do Hidrogênio com massa atômica igual a 3 que possui a sua meia vida referenciada na literatura como 12,5 anos, assim é possível utilizar os dados da tabela para investigar um pouco mais sobre os valores apresentados. Pode ser sugerido que os discentes façam sua própria tabela, coletando 18 pontos que julgarem pertinentes, respeitando a ordem crescente de tempo (anos).

Número de partículas	Tempo (anos)
100	0
91	2,5
80	5
68	7,5
61	10
49	12,5
42	15
38	17,5
33	20
30	22,5
28	25
23	27,5
21	30
18	32,5
18	35
17	37,5

**Tabela 1:** Dados do decaimento do Hidrogênio-3 em Hélio-3.

Fonte: Autoria Própria

Com os valores obtidos durante a investigação, pode-se solicitar aos estudantes que construam um gráfico, devendo-se obter uma curva exponencial decrescente, conforme é apresentado na Figura 4. A sugestão é de que se utilize da planilha do Excel ou calculadora, visto que a maioria dos alunos já estão mais familiarizados com essas ferramentas (computadores e alguns celulares possuem). Utilizando-se da ferramenta de linearização do Excel, foi possível ajustar o gráfico para confrontar os dados obtidos no simulador com o existente na literatura, de acordo com SANTOS (2005, p. 712).



**Figura 4:** Gráfico representando o número de desintegração do em função do tempo. (Autoria Própria)

No Excel, fazendo uso da ferramenta: *formatar linha de tendência do gráfico*, marca-se as opções de exibir equação do gráfico e exibir valor de R-quadrado, encontrando-se uma curva cujo valor de  $R^2$  é 0,9884, muito próximo de 1, indicando que os valores aferidos são adequados ao esperado, representando um gráfico muito próximo ao obtido por SANTOS (2005).

Outra importante informação obtida pela mesma ferramenta é a equação apresentada na figura 4:

$$y = 96,973e^{-0,05x}$$

Apropriando-se da equação descrita acima o professor pode pedir que se resolva o seguinte exercício:

Utilizando as informações obtidas no gráfico da figura 4, calcule o tempo de meia vida para o decaimento da amostra do trítio.

Utilizando a equação 1, podemos definir o valor da constante radioativa  $k$ , que é  $-0,05 x$ , que em comparação com a equação é  $-kt$ , assim definir o tempo da meia vida do elemento utilizado no simulador de forma muito simples.

Para obtermos a constante de decaimento radioativo temos o seguinte valor:

$$k = 0,05$$

Logo para definição do tempo de meia vida é buscado analogia a equação 6 que permite obter o cálculo da meia vida a partir das informações dos expoentes, assim o  $k$  representa a constante de decaimento que pode ser aplicada para o obter o tempo de meia vida conforme a seguir:

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{k} \rightarrow \frac{0,693}{0,05} \rightarrow t_{\frac{1}{2}} = 13,86 \text{ anos}$$

Observe que esse valor é muito próximo do valor indicado no simulador que era de 12,5 anos.

Para concluir, pode-se notar um erro de aproximadamente 10%, provavelmente proveniente da dificuldade de leitura na barra de tempo do simulador, o que pode ser melhorado executando várias medidas dos mesmos pontos e trabalhando com a média dos valores encontrados.

## 6. Roteiro de investigação

Ao iniciar atividade problematizar com as seguintes perguntas: Como podemos descrever o decaimento radioativo de um elemento químico? No seu cotidiano, onde você incluiria o “tempo de meia-vida”?

1) Depois de uma breve apresentação do simulador de decaimento beta, solicitar aos alunos que se organizem em grupos de no máximo 04 alunos e que busquem o conhecimento das principais ferramentas para uso do simulador. Pedir que descrevam

a função de pelo menos duas delas. (Sugestão: o professor pode projetar o simulador no grande grupo questionando a função de cada ferramenta)

2) Indagar se aluno sabe qual é o tipo de elemento químico usado no simulador e depois pedir para descrever sua massa e o seu número atômico.

3) Sugerir que acrescentem uma porção de 10 átomos, observando o que acontece com esses átomos conforme o tempo passa. Perguntar qual é o tipo de partícula que é liberada durante todo o intervalo da linha de tempo? Esses átomos podem ser considerados radioativos? Por quê?

4) Repetir o processo anterior, observando no quadro de isótopos, que os números mudam. O que significa essa mudança? Por que o número de cima diminui e o número na parte de inferior aumenta?

5) Utilizando 20 átomos do balde, o que os alunos podem relatar sobre o número de átomos de hidrogênio-3 que cruzam a linha pontilhada da meia vida?

6) Repetir o processo anterior usando 40 e depois 80 átomos. Fazer que tentem prever o número de átomos sobre a linha da meia vida. Qual foi esse número? Eles acertaram ou chegaram muito próximo?

7) Na linha de evolução do tempo, sugerir que tentem determinar o valor do tempo de meia vida representado no simulador. Em seguida, pedir para que descrevam como chegaram a essa conclusão.

8) Solicitar que façam uma breve pesquisa sobre o tempo de meia vida do hidrogênio-3. Pode-se questionar se existe outro elemento químico que tenha o mesmo tempo de meia vida?

9) Na sequência perguntar em que parte da linha de tempo é possível observar onde ocorre uma segunda marcação de meia vida? Pedir para que respondam novamente o item 6 da atividade considerando agora essa segunda linha de meia vida.

10) Solicitar que acrescentem todos os átomos do balde (100), procurem demarcar 10 pontos intermediários aos existentes na linha de tempo. Depois construir uma tabela com o número de átomos existentes em cada marcação de tempo. (Sugestão: peça que outros integrantes do grupo repitam a investigação, façam a contagem do número de partículas para a mesma marcação.

Exemplo:

Número de partículas	Tempo (anos)
100	0

11) Solicitar que os alunos construam um gráfico usando as informações coletadas na tabela do item 10 e questioná-los: se os eixos do gráfico são grandezas diretamente proporcionais ou inversamente proporcionais.

12) Nesta etapa, pressupõem-se que já haja conhecimento suficiente para explorar outros núcleos do simulador. Incentivar que façam uso do carbono-14 ou então customizar o seu próprio átomo, repetindo os itens do 8 ao 11.

13) Solicitar que expliquem o tempo de meia vida de um elemento químico radioativo.

14) O modelo matemático usado para descrever o decaimento radioativo de uma substância utiliza grandezas físicas diretamente proporcionais ou inversamente proporcionais?

**Conversa de Professor:** Esses procedimentos investigativos devem promover a reflexão sobre o comportamento das mutações dos núcleos atômicos e identificar as concepções iniciais dos estudos acerca do conceito e do comportamento energético da emissão das partículas bem como suas interações. Pode-se utilizar essa atividade como referência e propor que os alunos em grupo efetuem uma pesquisa sobre como é feita a proteção das pessoas que trabalham com elementos radioativos nocivos à saúde, que pode ser apresentada em uma aula posterior.

**Método avaliativo para fechamento da proposta:** Solicitar aos alunos que formem grupos para a confecção de vídeos, nos quais eles abordem os conteúdos trabalhados ao longo dessas aulas, para que sejam apresentados aos demais em sala e, posteriormente, postados nas redes sociais, que porventura o Colégio possua.

## **Referências**

***PHET Interactive Simulations. University Of Colorado Boulder. 2002-2021.***  
Disponível em [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/) último acesso em 13/07/2021.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. MÓL, Gerson de Souza (organizadores).  
**Química.** Projeto de Ensino de Química e Sociedade (PEQUIS). São Paulo/SP:  
Nova Geração. 2005.