



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL de LONDRINA

---

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

MARIA MADALENA DA SILVA

**ENSINO DA FÍSICA NUCLEAR PARA ENSINO MÉDIO COM  
ÊNFASE EM DATAÇÃO POR CARBONO-14:  
UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE  
SIGNIFICATIVA (UEPS)**

Londrina - PR  
2023

MARIA MADALENA DA SILVA

**ENSINO DA FÍSICA NUCLEAR PARA ENSINO MÉDIO COM  
ÊNFASE EM DATAÇÃO POR CARBONO-14:  
UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE  
SIGNIFICATIVA (UEPS)**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Física.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Parreira.

Coorientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Martinez Piratelo.

Londrina - PR

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

SILVA, MARIA MADALENA DA SILVA.

ENSINO DA FÍSICA NUCLEAR PARA ENSINO MÉDIO COM ÊNFASE EM DATAÇÃO POR CARBONO-14: : UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS) / MARIA MADALENA DA SILVA SILVA. - Londrina, 2023.

85 f.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Parreira Parreira.

Coorientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Martinez Piratelo.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Ensino de Física, - Tese. 2. Física Nuclear, - Tese. 3. Datação por Carbono-14, - Tese. 4. Aprendizagem Significativa. - Tese. I. Parreira, Prof. Dr. Paulo Sergio Parreira. II. Piratelo, Prof. Dr. Marcus Vinícius Martinez Piratelo. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. IV. Título.

CDU 53

MARIA MADALENA DA SILVA

**ENSINO DA FÍSICA NUCLEAR PARA ENSINO MÉDIO COM  
ÊNFASE EM DATAÇÃO POR CARBONO-14:  
UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE  
SIGNIFICATIVA (UEPS)**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

---

Prof. Dr. Paulo Sergio Parreira  
Orientador / UEL

---

Prof. Dr. Marcus Vinícius Martinez Piratelo  
Coorientador / UEL

---

Prof. Dr. Américo T. Fuji  
UEL

---

Prof. Dr. Fábio Lopes  
UEL

Dedico este trabalho a Deus e ao Espírito Santo que me ensinou e capacitou, e á minha família que me apoiou para conclusão desta etapa.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio e financiamento da Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço á Deus e ao Espírito Santo que me ensinou e capacitou a conquistar meus sonhos e objetivos na caminhada traçada até aqui.

Agradeço a meus familiares que me deram todo o apoio, me incentivando nos momentos mais difíceis e, pela compreensão aos momentos de ausência que os estudos me exigiram.

Agradeço a meu orientador Dr. Sergio por toda paciência, dedicação e empenho e que muito me ajudou na construção dessa dissertação.

Agradeço ao Dr. Marcus enquanto coorientador nesta pesquisa que foi fundamental nos conselhos e correções.

Agradeço ainda ao professor Dr. Américo T. Fuji, que foi peça fundamental nesta trajetória com direcionamentos, conselhos e amizade.

Enfim, todos que estiveram ao meu lado nesta etapa e que torceram pelo meu sucesso.

*“Educar verdadeiramente não é ensinar fatos novos ou enumerar fórmulas prontas, mas sim preparar a mente para pensar”.*

*Albert Einstein*

SILVA, Maria Madalena. **Ensino da Física Nuclear para Ensino Médio com Ênfase em Datação por Carbono-14**: Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). 85 folhas. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual de Londrina - UEL. Londrina, 2023.

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi à elaboração de um produto educacional, com uma abordagem temática da Física Nuclear para estudantes do Ensino Médio, com ênfase em Datação por Carbono-14, dentro de uma visão holística, visando proporcionar uma proposta pedagógica que viabilize a transposição didática do conhecimento científico. Assim, nessa perspectiva foram empregados recursos tecnológicos como simuladores, que permitiu ao aluno interação com as informações teóricas contempladas, como também partir da teoria considerando o conhecimento prévio do aluno, na intenção de estimular a reflexão, e fazer com que o aluno participasse de forma ativa nas discussões e atividades propostas dentro da teoria de aprendizagem significativa proposta por Ausubel. Foi elaborada uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) nesse âmbito e, aplicada a alunos da terceira série do ensino médio. Os dados foram coletados por meio de questionário, com a finalidade de analisar se a proposta foi bem sucedida. Como resultado final observa-se que a proposta obteve resultados positivos, frente ao esperado, possibilitando aos alunos aprendizagem do assunto e aproximando-os de ferramentas tecnológicas que auxiliam no ensino-aprendizagem.

**Palavras-chave:** Ensino de Física, Física Nuclear, Datação por Carbono-14, Aprendizagem Significativa.



SILVA, Maria Madalena. Teaching Nuclear Physics to High School with an Emphasis on Carbon-14 Dating: A Potentially Significant Teaching Unit (PSTU). 85 p. Dissertation (National Professional Master's in Physics Teaching) – State University of Londrina. Londrina, 2023.

### **ABSTRACT**

The objective of this research was the development of an educational product, with a thematic approach to Nuclear Physics, for high school students with an emphasis on Carbon 14 dating, within a holistic view, aiming to provide a pedagogical proposal that enables the didactic transposition of scientific knowledge . Thus, in this perspective, technological resources such as simulators were used, which allowed the student to interact with the theoretical information contemplated, as well as starting from the theory considering the student's prior knowledge, with the intention of stimulating reflection, and making the student participate in an active way. in the discussions and activities proposed within the theory of meaningful learning proposed by Ausubel. A potentially significant teaching unit (UEPS) was created in this context and applied to third grade high school students. Data were collected through a questionnaire in order to analyze whether the proposal was successful. As a final result, it is observed that the proposal obtained positive results compared to what was expected, seeking students to learn about the subject and bringing them closer to technological tools that help in teaching and learning.

**Keywords:** Physics Teaching, Nuclear Physics, Carbon 14 Dating, Meaningful Learning.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Datação de objetos arqueológicos.....	22
Figura 2 – Carta de Nuclídeos.....	25
Figura 3 – Séries de Desintegração .....	28
Figura 4 – Representação do Urânio .....	29
Figura 5 – Elemento inicial e após emissão .....	29
Figura 6 – Emissão completa do Tório.....	30
Figura 7 – Exemplo de identificação da família radioativa .....	30
Figura 8 – Representação da porcentagem de abundância do elemento.....	31
Figura 9 – Decaimento do Carbono-14 .....	36
Figura 10 – Gráfico do decaimento do C-14 .....	37
Figura 11 – Exemplo de datação.....	37
Figura 12 – Meia-vida do carbono-14.....	39
Figura 13 – Meia-vida do carbono-14 .....	39
Figura 14 – Etapas da UEPS.....	43

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentual de erros e acertos no questionário pré-teste.....	46
Gráfico 2 – Percentual de acertos no questionário pós-leitura de texto proposto .....	46
Gráfico 3 – Percentual de erros e acertos no questionário pós-teste .....	47
Gráfico 4 – Percentual de erros e acertos por aluno no pré-teste .....	48
Gráfico 5 – Percentual de erros e acertos no questionário pós-leitura .....	48
Gráfico 6 – Percentual de erros e acertos por aluno no questionário pós-teste.....	49

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Codificação dos participantes da pesquisa .....	41
Quadro 2 – Respostas do Quest. 01 (pré-teste) .....	44
Quadro 3 – Respostas do Quest. 2 (pós leitura de texto) .....	45
Quadro 4 – Respostas do Quest.03 (pós-teste) .....	45

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>16</b>
2.1. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL.....	16
2.2. UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS - UEPS.....	18
2.3. CONTEÚDO DE FÍSICA.....	21
2.3.1. <i>A Importância da Datação nos Estudos Arqueológicos</i> .....	22
2.3.2. <i>Radioisótopo</i> .....	24
2.3.3. <i>Radioisótopo natural ou sintético</i> .....	26
2.3.4. <i>Cadeias de Decaimento Radioativo</i> .....	28
2.3.5. <i>Lei do Decaimento Radioativo</i> .....	31
2.3.6. <i>Datação Radioativa</i> .....	33
2.3.7. <i>Importância do Carbono-14 na datação de fósseis</i> .....	37
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>40</b>
3.1. PROBLEMA DA PESQUISA E SUA NATUREZA.....	40
3.2. PARTICIPANTES DA PESQUISA.....	41
3.3. COLETA DE DADOS E OS INSTRUMENTOS DE COLETA.....	42
3.4. PRODUTO EDUCACIONAL.....	43
<b>4 ANÁLISES DE DADOS</b> .....	<b>44</b>
4.1. APRESENTAÇÃO DOS DADOS.....	44
4.2. ANÁLISE DOS DADOS.....	46
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>51</b>
<b>APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO PRÉ-TESTE</b> .....	<b>54</b>
<b>APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO PÓS-LEITURA DE TEXTO</b> .....	<b>55</b>
<b>APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO PÓS-TESTE</b> .....	<b>56</b>
<b>APÊNDICE D - TERMO DE CONSENTIMENTO</b> .....	<b>58</b>
<b>APÊNDICE E - PRODUTO EDUCACIONAL</b> .....	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Visando contribuir para sanar as dificuldades de se trabalhar o conteúdo de Física Nuclear e suas aplicações no ensino médio, em virtude da existência de uma grande divergência entre os livros didáticos de quais conteúdos serem abordados dentro desse tema, este material apresenta uma sequência didática (SD) para a abordagem do conteúdo de Isótopos Radioativos, na forma de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Essa SD se constitui em um produto educacional que foi elaborado para a dissertação intitulada “Ensino da Física Nuclear para Ensino Médio com Ênfase em Datação por Carbono-14: uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)”.

A presente proposta de ensino, tem como objetivo estudar e contextualizar os conceitos de isótopos instáveis, radioatividade, decaimento radioativo e meia-vida, em especial do Carbono-14 ( $^{14}\text{C}$ ), um radioisótopo que decai emitindo partícula beta ( $\beta$ ). A medida desta radiação, associada com o seu tempo de meia-vida, é perfeitamente mensurável a partir da morte de um organismo vivo e a datação radiométrica, que consistem no cálculo da idade de materiais a partir da quantidade de meias-vidas passadas, e, tornou-se uma importante ferramenta da arqueologia para o conhecimento acerca da história e origem da humanidade.

Esta UEPS é apresentada como um caminho para o ensino e a aprendizagem dos conceitos que englobam o tema desta pesquisa. Além de indicações de atividades, é contemplado uma organização do conteúdo de modo que seja suficiente para abordar, ao menos uma introdução do tema em sala de aula. Com a preocupação de que não seja uma sequência extensa, afim de não comprometer o tempo destinado a outros assuntos pertencentes ao currículo.

A UEPS é composta de por cinco etapas, como uma sequência didática que, de maneira simplificada, inicia-se com o levantamento de conhecimentos prévios dos alunos, seguindo com abordagem do tema radioisótopos, meia-vida e decaimento, até chegar à datação: história e aplicações do carbono-14. Essa abordagem temática é prevista para a terceira série do Ensino Médio, contudo, nada impede que seja trabalhada em outras séries da educação básica com as devidas adaptações, considerando o contexto e o perfil dos alunos. Portanto, a

UEPS se apresenta com um potencial facilitador para uma aprendizagem significativa na perspectiva de Ausubel, na perspectiva de despertar o interesse do aluno e facilitar a aprendizagem dos conceitos estudados. Como forma alternativa em oposição às aulas tradicionais.

Problemática: De que maneira o conteúdo de Física Nuclear assim como o radioisótopo Carbono-14 para datação de matéria orgânica podem ser trabalhados de forma a contribuir para uma aprendizagem significativa dos alunos da terceira série no Ensino Médio?

Como objetivo geral desta pesquisa, estabeleceu-se elaborar uma unidade de ensino potencialmente significativa abordando os conceitos a respeito do tema no ensino de física nuclear assim como o radioisótopo carbono-14 para datação de matéria orgânica. Dessa forma, os objetivos específicos ficam especificados como: apontar os conceitos físicos das radiações e radioisótopo carbono-14 para datação de matéria orgânica; compreender o assunto aprendizagem significativa e, estabelecer significados de uma unidade de ensino potencialmente significativa; construir uma proposta de UEPS.

Pensando na estruturação da pesquisa, realizou-se a seguinte divisão do trabalho sendo um capítulo (capítulo 2) de fundamentação teórica subdividido em outras três seções que compreende aprendizagem significativa de Ausubel, seguido pela segunda subseção, com tópicos em Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. A terceira subseção com conteúdos de Física fechando as subseções desta. Na sequência a próxima seção (capítulo 3) traz aspectos metodológicos empregados na elaboração da pesquisa, como o problema a ser pesquisado, os participantes da pesquisa, a coleta de dados, e o produto educacional. Seguindo para o capítulo 4, tem-se a análise dos dados com uma apresentação desses e sua análise, findando no capítulo (5) com as considerações finais.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Olhando para as aulas aplicadas na educação básica, no geral observa-se na maioria das vezes uma abordagem tradicional, e essa educação tradicional “esvazia os alunos da subjetividade, reflexão e criticidade. O processo de aprendizagem é meramente reduzido à absorção e repetição do conhecimento, há uma substituição da criatividade pela mimetização” (TEIXEIRA, 2018, p. 96). O ensino de ciências neste formato:

[...] passou décadas apoiada na reprodução dos mesmos padrões. Acreditava-se que os fenômenos naturais poderiam ser compreendidos com base apenas na observação e no raciocínio, bastando para isso que os estudantes fossem levados a conhecer todo o patrimônio científico produzido até então e a memorizar os conceitos (NOVA ESCOLA, 2009, P. 21).

Assim, para melhorar o ensino de ciências é importante que o docente esteja atento ao abordar a realidade de forma particionada, estática e com comportamento fixo, ou debater a respeito de um assunto sem considerar as experiências vivenciadas pelos discentes, esvaziando a importância e os significados que poderiam existir (FREIRE, 2019).

Outro aspecto relevante que pode ser apontado no ensino de ciências, se refere à utilização de técnicas de ensino, capazes de transformar o conhecimento em algo prazeroso e relevante, e para isso é importante (re)conhecer as peças-chaves capazes de produzir melhor assimilação de conteúdos apresentados em sala. Pois assim é possível uma compreensão crítica das interações e relações dos conteúdos, suplantando o modelo tradicional expositivo (TEIXEIRA, 2018).

Diante disso, é importante pensar em uma forma de abordagem dos conteúdos nas aulas que propiciem socialização, reflexão, interação, e apropriar-se da abordagem da aprendizagem significativa para isso, pode facilitar e auxiliar o processo ensino-aprendizagem.

### 2.1. APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

Em 1963, quando Ausubel apresentou sua teoria cognitivista, acreditava-se que a influência do meio sobre o indivíduo prevalecia, pois, as ideias behavioristas eram muito presentes na sociedade. Os behavioristas



defendiam a concepção que o conhecimento dos estudantes não era considerado e, entendia-se que só aprenderia se fossem ensinados de forma “mecânica” por alguém.

Contrariando os comportamentalistas, Ausubel propôs que a aprendizagem ocorre a partir do que o aluno já sabe e, a partir disso, devem-se introduzir os novos conhecimentos. Ainda segundo Ausubel, não podemos esquecer o ponto mais importante que é a motivação do aluno em aprender, pois, assim os conteúdos terão significados. Para que a aprendizagem se efetive é preciso promover a organização e a integração de material na estrutura cognitiva do indivíduo. É necessária, que a nova informação, em alguma medida, faça sentido para o aluno e, nesse processo, a informação deverá interagir e ancorar-se nos conceitos relevantes já existentes na estrutura do discente.

O processo de assimilação, através da interação de significados na estrutura cognitiva do aluno, é chamado de aprendizagem significativa. De acordo com Moreira (2011), a aprendizagem significativa é aquela que interage de maneira significativa e não arbitrária com o conhecimento já existente na estrutura cognitiva do aprendiz. Quando o autor cita que a aprendizagem deve ser substantiva, se refere ao fato de que deve ser não ao “pé da letra” (não literal) e não arbitrária quer dizer que não é com qualquer ideia prévia apresentada e, sim com as que já existem na estrutura cognitiva de quem vai receber a informação.

Em outras palavras, aprendizagem significativa parte do princípio que, cada sujeito possui em si conhecimentos de vários âmbitos que foram adquiridos durante vivências. Este conhecimento prévio presente, que já é parte da estrutura cognitiva do aluno é importante para elaboração de novos conceitos, este saber já existente é conhecido como subsunçor e, servirá de âncora para o novo conhecimento. Como afirma Moreira (2012, p.30), “tanto por recepção como por descobrimento a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles”.

## 2.2. UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS - UEPS

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), foi uma criação que emergiu do intuito de uma aprendizagem significativa, contemplando a metodologia investigativa, como uma alternativa ao método tradicional de ensino, sendo que neste último, o ensino acontece de forma unilateral, em que o professor transmite o conhecimento para o aluno, em via de mão única na recepção de informações e sua memorização.

Moreira (2011) preconiza que as UEPS são como sequências de ensino com fundamentação teórica, que enfatizam a aprendizagem significativa, não mecânica, que provocam estímulos à pesquisa aplicada em ensino, ou seja, aquela associada diretamente à sala de aula. É unidades de ensino com grande potencial facilitador que consideram a aprendizagem significativa, com tópicos específicos de conhecimento. Seguindo o princípio de que, o ensino se dá quando se detecta aprendizagem e, esta precisa ser significativa; sendo o ensino como o meio e, a aprendizagem significativa o fim; a proposta é que materiais de ensino trabalhem essa aprendizagem com formatos potencialmente significativos.

Vale lembrar que, os conhecimentos prévios dos alunos sobre determinado assunto tema da aula, são levados em conta nas UEPS, uma vez que o conhecimento prévio, de acordo com Ausubel, é o fator variável que mais interfere na aprendizagem significativa. Já de acordo com Novak, os pensamentos, sentimentos e ações se integram de forma a interferir na aprendizagem, sendo esta integração positiva e construtiva, quando a aprendizagem é significativa. No entanto, está a critério do aluno decidir se quer aprender significativamente determinado conhecimento, de acordo com suas próprias preferências ou necessidades.

Ausubel aponta proposta com princípios para a construção e planejamento pautados em aprendizagem significativa, estes devem ser obedecidos numa UEPS, sendo eles a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora, a organização sequencial e a consolidação em sua organização para o ensino. Quando se trata deste último princípio citado, a consolidação, a avaliação faz parte fundamental para seu estabelecimento, sendo um elemento intrínseco a ela. Na aprendizagem significativa a avaliação possui a finalidade de

buscar evidências da eficácia de sua realização, ou seja, questões que levam o aluno a refletir, e que o põe frente a uma situação diferente daquela explicada originalmente. Jamais sendo aceitas questões com respostas imediatas e decoradas, que não faça o aluno transpor o conhecimento para outros lugares objetos e situações.

No processo de elaboração de uma UEPS, o desenvolvedor desta não pode se esquecer da sua real função dentro deste processo, qual seja o de provedor de situações-problema minuciosamente selecionadas, o de organizador do ensino e mediador<sup>1</sup> da captação de significados por parte do aluno. Sendo que, o conjunto dessas ações compõe a facilitação para uma aprendizagem significativa crítica e não mecânica. Por isso, é fundamental que se considere o emprego de materiais instrucionais diversos e estratégias que prioriza um ensino centrado no aluno e não no professor. Moreira (2011) estabelece alguns movimentos a serem seguidos na elaboração de uma UEPS:

1. Definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais, tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
2. Criar ou propor situações que levem o aluno a externar seus conhecimentos prévios, aceitos ou não no contexto da matéria de ensino, supostamente relevantes para a aprendizagem significativa do tópico;
3. Propor situações-problema, em nível introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar. Estas situações-problema podem envolver, desde já, o tópico em pauta, mas não para começar a ensiná-lo. Elas também podem funcionar como organizadores prévios. São essas situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas, para isso, o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente. Podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, e vários outros modos, mas sempre de modo acessível e problemático, isto é, não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo;
4. Uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, ou seja, começando com aspectos

---

<sup>1</sup> Segundo Feuerstein (1980), mediador é aquele que não se prende ao nível de maturação manifestado pelo aprendiz, mas antecipa-se ao desenvolvimento direcionando o ensino às funções psicológicas superiores que ainda estão por se completar.

mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos. A estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;

5. Retomar os aspectos mais gerais do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação, a qual que pode ser feita através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional ou de um texto, porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação. As situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade. Dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora. Após esta segunda apresentação, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador. Esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou de um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente;

6. Dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa. Isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um audiovisual, etc. O importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade. Após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores, sendo resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente;

7. A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado. Além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência. Tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na matéria de ensino. A avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa;

8. A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa, ou seja, captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema. A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo, por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

É de extrema importância que, em todos os passos haja uma diversificação de materiais e estratégias de ensino, havendo privilégio de aplicação de questionamento em relação às respostas prontas, de forma a sempre estimular discussões, reflexões e críticas. São imputadas aos alunos situações-problema relativas ao tema de assunto como tarefas de aprendizagem, em atividades a serem prospectadas ao longo da UEPS. Mesmo embora a UEPS aponte privilégios às atividades colaborativas, é primordial também prever atividades individuais.

### 2.3. CONTEÚDO DE FÍSICA

O interesse a respeito da constituição, construção ou modificação da matéria data da antiguidade, vindo desde Demócrito (460 a.C.) quando nasce o conceito de átomo com significado de indivisível, sendo um conceito teórico, pois não havia como adotar comprovações. Com o progresso da instrumentalização, o experimento passa a ser possível na investigação da matéria. E, dessa forma a ideia de átomo indivisível vai se aprimorando, chegando aos modelos atômicos (TIPLER, 1995).

No ano de 1896, Henry Becquerel com suas pesquisas, descobriu a radioatividade natural emitida por sais de urânio. Posteriormente, Marie Curie, trabalhou com elementos mais radioativos, como o tório, o rádio e o polônio. Ambos foram premiados com o Nobel em 1911 (CESAREO, 2010).

Diversos outros cientistas compuseram a história dos estudos da radioatividade, evidenciando pesquisas, estudos e compondo fatos históricos relacionados à radioatividade. Vários modelos foram discutidos e adotados, até se chegar ao modelo conhecido e adotado atualmente. Assim como vários acontecimentos também marcaram o contexto histórico do tema.

Rutherford, e posteriormente Bohr são cientistas responsáveis pelo modelo adotado atualmente, com núcleo positivo, composto de prótons e

nêutrons, com uma eletrosfera que o rodeia composta por elétrons, com carga negativa. Sendo esse o modelo que explica grande parte dos fenômenos observados (TIPLER, 1995).

Sendo imprescindível a atuação dos nêutrons no núcleo dos átomos, uma vez que sua atuação visa minimizar os efeitos das forças de repulsão dos prótons no núcleo por não possuir carga elétrica. Havendo uma relação ideal entre prótons e nêutrons no núcleo para que este seja estável (CESAREO, 2010).

Entretanto outros experimentos apontam ao conhecimento a existência de outras partículas constituintes destes, e apontam prótons e nêutrons não sendo partículas elementares. Essas investigações levam, no mesmo período, a descoberta da radioatividade, empregada em vários ramos, incluindo conhecimentos de bombas nucleares (CESAREO, 2010).

Assim a física nuclear é vista como o estudo das partículas e sua constituição, e as interações entre elas. Ou seja, estuda fenômenos físicos, como transição de energia, decaimento radioativo, fissão e fusão nuclear, entre outros, e as aplicações diretamente relacionadas a ela (TIPLER, 1995).

### 2.3.1. A Importância da Datação nos Estudos Arqueológicos

**Figura 1** – Datação de objetos arqueológicos



Fonte: [www.Hi7.com](http://www.Hi7.com)

A datação de objetos arqueológicos (exemplo figura 1) é um processo interdisciplinar, envolvendo física, química e biologia. Todo o método para se inferir a idade de um artefato ou de fósseis são baseados no estudo das alterações químicas e físicas que acontecem lentamente ao longo do tempo com

o material de que o objeto é feito. É uma ciência que rompe a barreira do tempo para reconstruir o passado da humanidade com vistas ao entendimento da sociedade atual, usando como fonte de pesquisa objetos concretos produzidos pelas mãos do homem, deslocados do seu tempo e de sua utilização (FERNANDEZ MARTINEZ, 2000) .

Pode-se afirmar que a arqueologia por datação de fósseis é de extrema importância para a ciência em geral, haja vista que é por meio deste mecanismo que é possível compreender o antepassado e o mundo como era em até bilhões de anos atrás.

Por intermédio da datação, é possível descobrir aspectos culturais, marcas relativas ao solo bem como condições climáticas de determinadas regiões. Logo, são de grande relevância para o mundo científico.

Ao deparar-se com um fóssil, como calcular sua idade e, assim, reconstruir a história da vida na Terra? Em 1949, um pesquisador da Universidade de Chicago chamado Willard Libby, inventou uma técnica que representou um significativo avanço para os estudos arqueológicos: o sistema de datação por radiocarbono. Desde então, o método se transformou em uma poderosa ferramenta de análise do passado. Como o nome indica, o radiocarbono é uma forma radioativa de carbono, produzida na atmosfera superior a partir da interação da radiação cósmica com elementos encontrados nessa região da Terra. Com isso, ele acaba sendo quase onipresente no planeta, incorporado a todo tipo de matéria orgânica (VERGNE, 2004).

A arqueologia conta com um elemento químico para datar fósseis, esse elemento permite decifrar de qual época é um achado dos arqueólogos, e o valor do objeto se relaciona com a data, ou seja, quanto mais antigo é um fóssil maior será sua importância (MACARIO, 2003).

Quando um animal morre e se transforma em fóssil, por exemplo, a substância continua presente, mas é lentamente modificada por um processo físico chamado decaimento. É por meio da medição do decaimento que os cientistas conseguem calcular de forma aproximada a idade do fóssil (MACARIO, 2003).

Ao longo dos anos, a arqueologia desvendou informações sobre culturas passadas que teriam permanecido desconhecidas se não fosse pela ajuda de

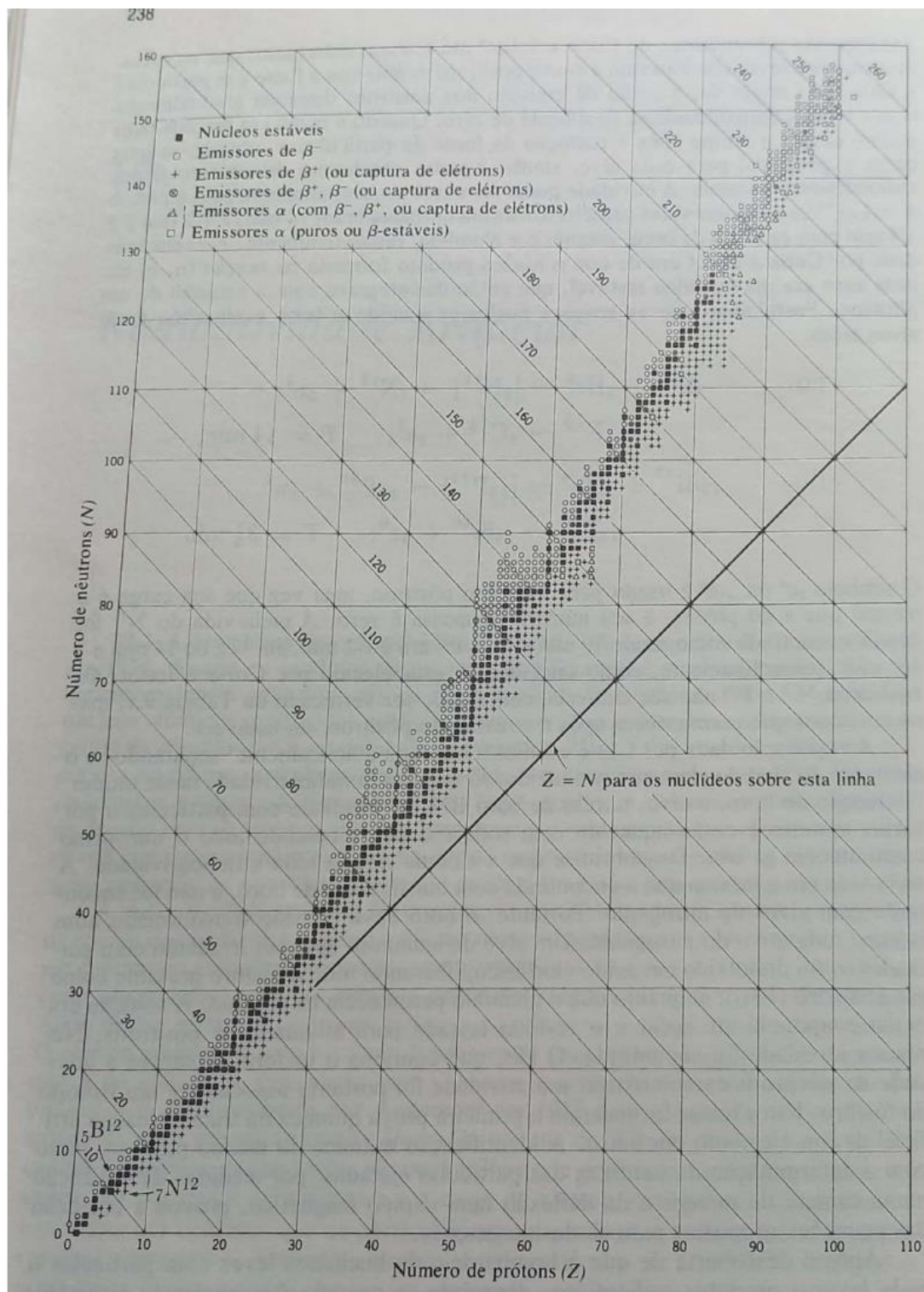
tecnologias como a datação por radiocarbono, dendrocronologia, datação arqueomagnética, datação de fluoreto, datação por luminescência e análise de hidratação obsidiana, entre outras. A datação por radiocarbono existe há mais de 50 anos e revolucionou a arqueologia. E continua sendo uma técnica muito eficaz, confiável e amplamente aplicável, com um valor inestimável para os arqueólogos e outros cientistas (SANTOS, 2002).

### 2.3.2. Radioisótopo

Radioisótopo é a denominação genérica de um elemento químico que possui o mesmo número atômico,  $Z$ , porém diferente número de massa,  $A$ , e que possui instabilidade energética de seu núcleo atômico, fazendo com que o mesmo emita radiação para atingir a estabilidade. A este processo, dá-se o nome de decaimento radioativo e ocorre com a emissão de partículas, como por exemplo a emissão de partículas  $\alpha$ ,  $\beta$ , etc. como também com a emissão de radiação  $\gamma$ . A Figura 2 apresenta uma *Carta de Nuclídeos* (extraído de KAPLAN, 1962) onde foram plotados números atômicos ( $Z$ ) versus números de nêutrons ( $N$ ), mostrando a distribuição dos elementos químicos naturais e de seus radioisótopos.



Figura 2 – Carta de Nuclídeos



Fonte: Kaplan, (1962).

Verifica-se, pela figura, que os isótopos (elementos que possuem o mesmo número atômico) estão plotados ao longo das linhas verticais, os isótonos (elementos que possuem o mesmo número de nêutrons) estão plotados

ao longo das linhas horizontais e ao longo das linhas diagonais, estão os isóbaros (elementos que possuem o mesmo número de massa,  $A$ , que é a soma de  $N + Z$ ) (FELTRE, 2004).

Os isótopos estáveis são representados por quadrados cheios e acima ou abaixo destes elementos estáveis estão os isótopos radioativos, onde estes núclídeos apresentam ou um excesso de nêutrons ou uma deficiência de nêutrons. Um núclídeo com excesso de nêutrons tende a aumentar sua carga nuclear (aumentar  $Z$ ) para atingir a estabilidade e um com deficiência de nêutrons, tende a diminuir sua carga nuclear (diminuir  $Z$ ) para atingir a estabilidade. Para aumentar a carga nuclear o núcleo irá emitir partículas beta, e para diminuir a carga nuclear o núcleo irá emitir pósitron, ou realizar a captura de elétron orbital (FELTRE, 2004).

### 2.3.3. Radioisótopo natural ou sintético

Os radioisótopos naturais são formados por isótopos, que são átomos com o mesmo número atômico e diferente número de massa, ou seja, isótopos radioativos. A maior parte dos radioisótopos naturais formou-se na criação da terra, por exemplo, os isótopos do urânio, que não é um material cindível sendo o mais comum e estável isótopo do urânio, ao contrário do urânio-235 que é um isótopo físsil e corresponde por cerca de 0,72% do urânio natural. Diferente do isótopo predominante, o urânio-238, pode sustentar uma reação em cadeia de fissão nuclear. É o único isótopo natural e físsil que é encontrado na natureza em quantidades relevantes, além de ser um núclídeo primordial, e é usado para construir reatores nucleares e bombas atômicas (FELTRE, YOSHINAGA, 1974).

Os radioisótopos sintéticos são radioisótopos ou isótopos radioativos que não se encontram de forma natural na terra, porém podem ser criados mediante reações nucleares sendo preparados artificialmente. Um exemplo de radioisótopo sintético é o isótopo tecnécio-99 metaestável,  $^{99m}\text{Tc}$ , que se obtém por desintegração beta do  $^{99}\text{Mo}$  (MELQUÍADES, APPOLONI, 1988).

Os átomos dos isótopos radioativos apresentam alta instabilidade, seus núcleos liberam energia na forma de radiação eletromagnética (raios gamas) ou partículas com alta energia, transformando-se em novos elementos. Esse

acontecimento decorre de forma natural e é chamado de decaimento radioativo ou reação de transmutação ou, ainda, reação de desintegração radioativa. O elemento carbono-14 ( $^{14}\text{C}$ ), é um isótopo radioativo do carbono, que pode decair para nitrogênio-14 ( $^{14}\text{N}$ ), que é forma mais estável do nitrogênio o qual não ocorre radiação (FELTRE, YOSHINAGA, 1974).

Para que se consiga monitorar ou determinar a idade de certo corpo, ou fóssil, é empregado o decaimento radioativo de isótopos, parâmetro importante nesta determinação, portanto, é conhecido como “relógio geológico”. Isso é possível devido uma propriedade dos radioisótopos denominada de meia vida, que é o período de tempo preciso para que metade dos seus átomos sofra decaimento radioativo (FERNANDES *et al.*, 2004).

A meia vida pode variar muito de um isótopo para outro, uns possuem decaimento em milhões de anos, já outros em milésimos de segundos. Por exemplo, a meia vida do carbono-14, é prevista de 5.730 anos, em outras palavras, a cada período de 5.730 anos, metade dos seus átomos constituintes numa atmosfera decai para nitrogênio-14. O urânio 235 possui uma meia vida de 700 milhões de anos, já o potássio 40 possui um decaimento de 1,3 milhões de anos, enquanto que o césio 137, em 30 anos (FERREIRA *et al.*, 1997).

Para se realizar o cálculo da idade de fósseis e rochas sedimentares é empregada à verificação de meia vida dos elementos no material. Sendo o carbono-14 amplamente na datação de ossos, sedimentos orgânicos, madeira e tudo que seja proveniente de matéria viva com tempo inferior a 50 mil anos, sendo empregados isótopos de meia vida mais longas para datação de fósseis mais antigos (KATHREN, 1998).

Além da aplicação citada acima, os isótopos radioativos possuem um conjunto de aplicações práticas, entre elas cita-se a medicina, com aplicação em estudos e diagnósticos e ainda tratamento de doenças. Como exemplo cita-se o iodo-131, possui eficiência no mapeamento da tireóide, o cromo-51 que é aplicado nos estudos das hemácias, o tálio-201, que auxiliam no diagnóstico de distúrbios cardíacos, o mercúrio-197, que tem sucesso no estudo de tumores do cérebro, o cobalto 60, aplicado na destruição de células cancerosas entre tantos outros que podem ser citados nessa linha (ANDRADE *et al.*, 2004).

Outro setor que faz uso desse tipo de elemento é a agricultura, em que os isótopos são aplicados aos adubos e fertilizante com a finalidade de estudar a

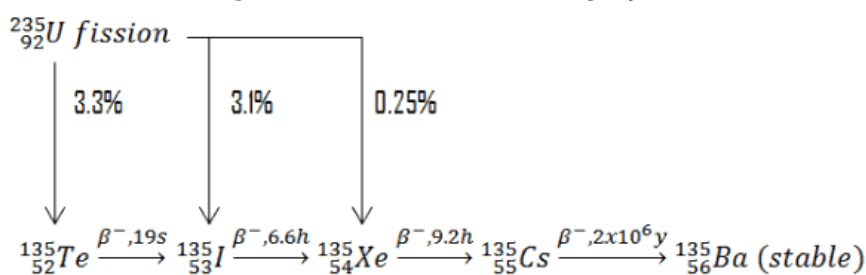
capacidade de absorção desses compostos nas plantas. Outro ramo é o industrial que empregam tais elementos em estudos da depreciação de materiais, esterilização de objetos cirúrgicos e datação de vazamentos em oleodutos, entre outros (SARTORI *et al.*, 2014).

#### 2.3.4. Cadeias de Decaimento Radioativo

A cadeia de decaimento radioativo compreende uma sequência de decaimento radioativo, sendo conseqüentemente uma sequência de núcleos atômicos instáveis e suas maneiras de decaimento resultando em um núcleo estável. As origens desses núcleos instáveis não são as mesmas, sendo diferentes, porém, uma grande parte de pesquisadores trabalha com cadeias de decaimento radioativo que acontecem de forma natural, denominada de séries radioativas (CARDOSO, 2012).

Vale salientar que em reatores nucleares, uma variedade de cadeias de decaimento e fragmentos de fissão são detectadas. Os fragmentos de fissão são altamente instáveis (radioativos) e apresentam mais decaimentos radioativos de modo a se estabilizarem. Já as cadeias de decaimento “artificiais” não fazem parte das séries radioativas que acontecem de forma natural. Conforme mostra a figura 3 abaixo (CARDOSO, 2012).

**Figura 3 – Séries de Desintegração**



Fonte: [www.radiation-dosimetry.org](http://www.radiation-dosimetry.org)

As séries de Desintegração Radioativa Natural (figura 3) são séries radioativas, conhecidas como cascatas radioativas, em que ocorrem três cadeias de decaimento radioativo de ocorrência natural e uma cadeia artificial de decaimento radioativo de núcleos atômicos pesados e instáveis (FELTRE, 2004).

**Figura 4 – Representação do Urânio**

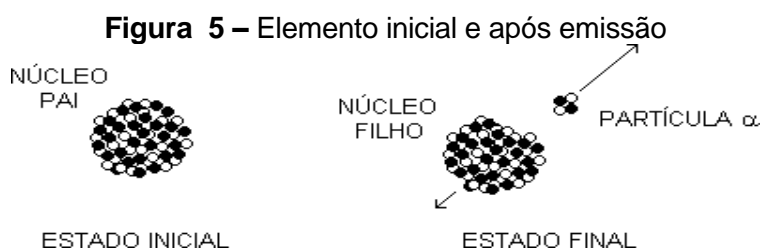
Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/series-radioativas.htm>.

Ou seja, pode-se dizer que é o agrupamento de elementos que possuem núcleos instáveis, que realizam uma sequência ordenada de desintegrações espontâneas, isto é, realizam a emissão de partículas alfa e beta, até que dessas emissões atinja-se um núcleo estável de chumbo (FELTRE, 2004).

Sendo que todos os isótopos radioativos naturais que fazem desintegração espontânea na natureza são advindos de três elementos radioativos, que são o tório-232 ( $_{90}^{232}\text{Th}$ ), urânio-238 ( $_{92}^{238}\text{U}$ ), urânio-235 ( $_{92}^{235}\text{U}$ ). A série do urânio-235 (representada na figura 4 acima) é conhecida como série do actínio, pois nos primórdios da tabela periódica acreditava-se que o primeiro elemento dessa família fosse o actínio (ATKINS, JONES, 2012).

Esses elementos citados emitem uma partícula alfa ( $\alpha$ ) e consecutivamente se transformam em outro elemento radioativo, que, em seguida, faz a emissão de uma partícula alfa ( $_{2}^{4}\alpha$ ) ou beta ( $_{-1}^{0}\beta$ ), o que resulta outro elemento radioativo; e assim segue sucessivamente, e disso tem-se como consequência um isótopo estável do elemento chumbo (Pb) (ATKINS, JONES, 2012).

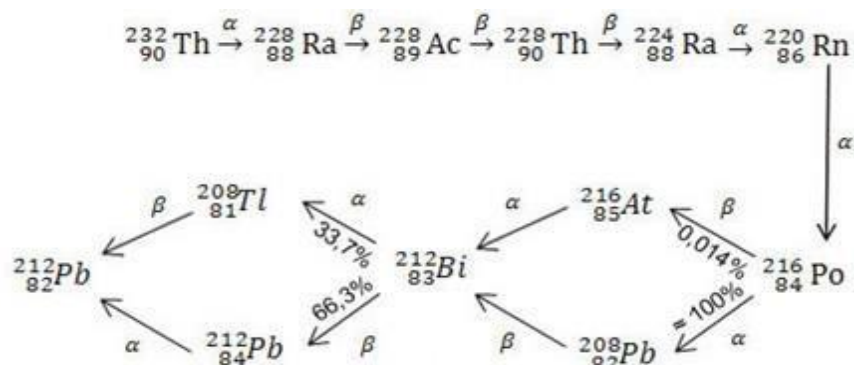
O elemento inicial (figura 5) dessa série radioativa pode ser visto nas duas figuras seguintes, e são conhecidas como núcleo-pai ou elemento-pai; e após a emissão se tornam núcleos-filhos ou elementos-filhos, sendo esses elementos que originados do núcleo-pai (ATKINS, JONES, 2012).



Fonte: [www.coral.ufsm.br](http://www.coral.ufsm.br)

Na figura 6 a seguir tem-se um exemplo de emissão completa do elemento tório:

**Figura 6** – Emissão completa do Tório

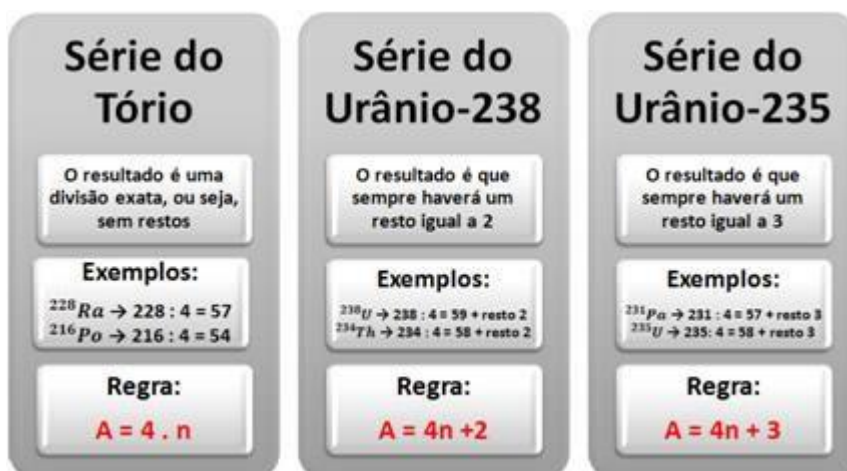


Fonte: [brasilecola.uol.com.br](http://brasilecola.uol.com.br)

As séries do urânio e do actínio possuem emissão com cadeias mais longas que a do tório demonstrada acima. Sendo a mais importante delas a do urânio-235, ou do actínio, uma vez que o urânio-235 é considerado um dos principais isótopos empregados como combustível em usinas nucleares e na fabricação de armas atômicas (CARDOSO, 2012).

Por meio da aplicação de uma regra simples é possível precisar à qual série ou família radioativa um isótopo radioativo é originário, a regra prediz uma divisão do número de massa (A) do elemento por quatro; e, segundo o resultado encontrado, determina-se a série do elemento. O número de nêutrons é representado pelo “n”. Observe como isso ocorre na figura 7 abaixo (CARDOSO, 2012).

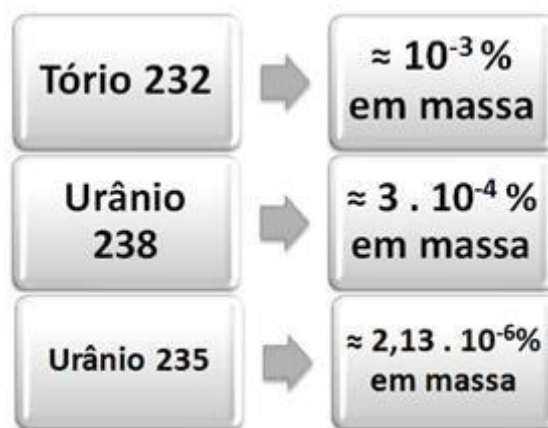
**Figura 7** – Exemplo de identificação da família radioativa



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

A seguir tem-se uma representação da porcentagem de abundância na natureza dos três elementos citados acima que originam cada série, de acordo com a figura 8 abaixo.

**Figura 8** – Representação da porcentagem de abundância do elemento



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

Esses elementos, como já dito anteriormente, estão em equilíbrio radioativo, essa situação é chamada de equilíbrio secular. O que quer dizer que conforme ocorre a desintegração de um dado elemento, ocorrendo formação de outro, esse segundo elemento também possui a quantidade reduzida pela sua própria desintegração, o que resulta em uma que seja igual à quantidade de isótopos naturais por um longo tempo. E observando que os elementos-pai não vão sendo repostos, a consequência é de que um dia eles terminem, assim como todos os outros elementos radioativos das séries, permanecendo apenas o chumbo estável (FELTRE, 2004).

### 2.3.5. Lei do Decaimento Radioativo

A lei de decaimento radioativo é instituída como lei universal que preconiza sobre a forma que um grande número de núclídeos se comporta estatisticamente. Esse processo de decaimento radioativo ocorre de forma aleatória em um nível de átomos únicos, uma vez que, segundo a teoria quântica, não existe a possibilidade de prever quando haverá decaimento de determinado átomo. Em outras palavras, pode-se dizer que um núcleo de um radionuclídeo não tem lembrança que é o momento do decaimento. Um núcleo não “envelhece” mesmo com o tempo passando. Sendo que a possibilidade de



ruptura não expande com o tempo, permanecendo constante, independente do tempo de existência deste núcleo (SANTOS, CARNEIRO, 2006).

Durante seu decaimento sem previsibilidade, esse núcleo que não possui estabilidade se desagrega de forma espontânea e aleatória com objetivo de estruturar um núcleo diferente (ou um estado de energia diferente – decaimento gama), irradiando no formato de partículas atômicas ou raios de alta energia. As estimativas de decaimento dos núcleos radioativos se dão em processos diretos, pelo motivo de existir apenas uma lei fundamental que rege os procedimentos de decaimento (SANTOS, CARNEIRO, 2006).

A lei de decaimento radioativo estabelece que a possibilidade por unidade de tempo que um núcleo decairá é uma constante, independente do tempo. Essa constante é denominada de constante de decaimento, representada por  $\lambda$ , (lâmbda). Sendo que essa probabilidade constante é bastante variável entre a diversidade de núcleos existentes, acarretando em diversas taxas de decaimento. Outro fato importante é que o decaimento radioativo de determinado número de átomos, ou seja, a massa desse átomo, ela é exponencial no tempo (SANTOS, CARNEIRO, 2006).

$$\text{Lei de decaimento radioativo: } N = N_0 e^{-\lambda t}$$

A medida da taxa de decaimento nuclear pode ser dada também em termos de meia-vida. A meia-vida se refere ao tempo necessário para que um determinado isótopo venha a perder metade de sua radioatividade. Por exemplo, se um radioisótopo apresentar uma meia-vida de 20 dias, metade de seus átomos apresentarão decaimento em 20 dias. Em mais 20 dias, a metade da metade que restou do primeiro decaimento, irá decair e assim sucessivamente. As meias-vidas por ter uma variação de milionésimos de segundo para produtos de fissão altamente radioativos a bilhões de anos para materiais de longa duração (como o urânio que ocorre naturalmente). Vale ressaltar que meia-vida curta compreende uma larga constante de decaimento. Já para materiais radioativos com meia-vida curta, sua radioatividade é muito maior (no momento da produção), mas, que efetivamente terá perdas rápidas relativas à sua radioatividade. Independente se o tempo de



meia-vida for curto ou não, depois que sete meias-vidas houverem acontecido, certamente restará menos de 1% da atividade de início (ATKINS, JONES, 2012).

Para fins de estimativas de atividade ou massa de material radioativo, a lei de decaimento radioativo pode ser empregada derivações:

$$\text{(Número de núcleos) } N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\text{(Atividade) } A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\text{(Massa) } m = m_0 e^{-\lambda t}$$

Como legenda, diz-se que o  $N$  (número de partículas) é o número total de partículas na amostra,  $A$  (atividade total) é o número de decaimentos por unidade de tempo de uma amostra radioativa,  $m$  é a massa do material radioativo restante.

#### 2.3.6. Datação Radioativa

A datação radioativa é uma técnica usada para datar materiais orgânicos e também inorgânicos por meio de um processo que envolve o decaimento radioativo. Os métodos de datação radioativa são usados na geocronologia para estabelecer a escala de tempo geológico na formação de minerais e/ou eventos geológicos de uma determinada região, bem como a idade estimada de fósseis de animais e plantas (FRANCISCO *et al.*, 2011).

O método compara a abundância de um isótopo radioativo de ocorrência natural, presente dentro do material, com a abundância de seus produtos de decomposição, que se formam a uma taxa constante (FRANCISCO *et al.*, 2011).

Esses métodos se baseiam no fato de a taxa na qual os núcleos radioativos se desintegram não serem afetados pelo ambiente, podendo ser usados para estimar a idade de qualquer amostra ou objeto que contenha um isótopo radioativo. Os cálculos do decaimento dos núcleos radioativos são relativamente diretos, devido ao fato de haver apenas uma lei fundamental que governa todo o processo de decaimento (FRANCISCO *et al.*, 2011).

O carbono-14 é um isótopo radioativo formado por meio da colisão de raios cósmicos e do nitrogênio-14, ambos os elementos estão presentes na atmosfera terrestre. Dessa forma, os organismos vivos presentes na terra

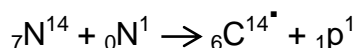
absorvem o carbono por meio da respiração, fazendo com que ocorra um equilíbrio entre a quantidade deste elemento presente no organismo e na atmosfera (PEZZO, 2002).

Por se tratar de um elemento radioativo, o carbono-14 permitiu o desenvolvimento da técnica altamente eficaz para estudos de seres que viveram antigamente. Assim, quando aplicado o isótopo em sedimentos orgânicos, como ossos e conchas marinhas é possível determinar a idade do fóssil, uma vez que a quantidade de carbono-14 tende a diminuir (CESAREO, 2010).

O método de datação com o carbono-14 é utilizado para a determinação da idade de fósseis de plantas, animais, múmias, etc, e se baseia no decaimento do isótopo radioativo do carbono-14 (FRANCISCO *et al.*, 2011).

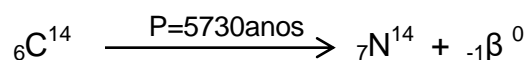
O isótopo carbono-14, já dito acima, forma-se a partir do  $^{14}\text{N}$ , pela ação dos raios cósmicos que vêm do espaço sideral, atravessam a atmosfera e arrancam nêutrons do ar. Estes, ao penetrarem na atmosfera, incidem sobre núcleos de nitrogênio, transformando-se em  $^{14}\text{C}$  radioativo, cuja meia-vida é de 5730 anos, que pode ser observada na expressão abaixo, Equação 1 e 2 (CESAREO, 2010).

Equação (1) de meia vida do Nitrogênio



O carbono reage com o oxigênio do ar, e desta reação surge o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), este é absorvido pelas plantas (fotossíntese). Os animais que se alimentam de plantas fixam carbono (C) em seus tecidos. Para cada átomo carbono-14 existem  $10^{12}$  átomos de carbono comum. Essa proporção é constante enquanto o animal ou vegetal estiver vivo. Ao morrerem, não havendo renovação dos organismos, a quantidade de  $^{14}\text{C}$  diminui progressivamente, por desintegração, segundo a reação abaixo (FRANCISCO *et al.*, 2011).

Equação (2) de meia vida do Nitrogênio



Deste modo, medindo a radioatividade residual do fóssil, é possível calcular sua idade. A grande dificuldade está no fato de essa radioatividade ser

muito fraca. São necessários, pois, contadores de grande proporção e, ainda por cima, isolados da influência de raios cósmicos e de seus subprodutos que chegam com frequência à superfície da Terra. Com outras precauções, podemos efetuar datações de até 40 000 anos, com erros da ordem de 200 anos (FRANCISCO *et al.*, 2011).

Sempre que um organismo deixa de viver, a absorção de novos átomos de carbono é cessada. A correlação existente entre o carbono-12 por carbono-14 quando da morte prossegue em igual semelhança a de outros organismos vivos, porém, o carbono-14 passa a decair e não sendo repostado no organismo sem vida. Em uma amostra, a meia-vida do carbono-14 é de 5.730 anos, em contrapartida a de carbono-12, segue constante. Vislumbrando a relação entre carbono-12 e carbono-14 na amostra, comparativamente a um ser vivo, pode-se identificar a idade de algo que teve vida em tempos passados de uma maneira quase precisa (PEZZO, 2002).

A equação 3 abaixo demonstrada é utilizada nos cálculo da idade de uma amostra através da datação por carbono-14 é:

$$t = [ \ln (N_f/N_o) / (-0,693) ] \times t_{1/2} \text{ (equação 3)}$$

Onde,  $\ln$  é o logaritmo neperiano,  $N_f/N_o$  representa o porcentual de carbono-14 presente na amostra em comparação aos níveis presentes em tecidos vivos e,  $t_{1/2}$  é a meia-vida do carbono-14 (5.730 anos). Portanto, se houver um fóssil com 10% de carbono -14 comparativamente a uma amostra viva, este possivelmente teria (PEZZO, 2002):

$$t = [\ln (0,10)/(-0,693)] \times 5.730 \text{ anos}$$

$$t = [(-2,303)/(-0,693)] \times 5.730 \text{ anos}$$

$$t = [3,323] \times 5.730 \text{ anos}$$

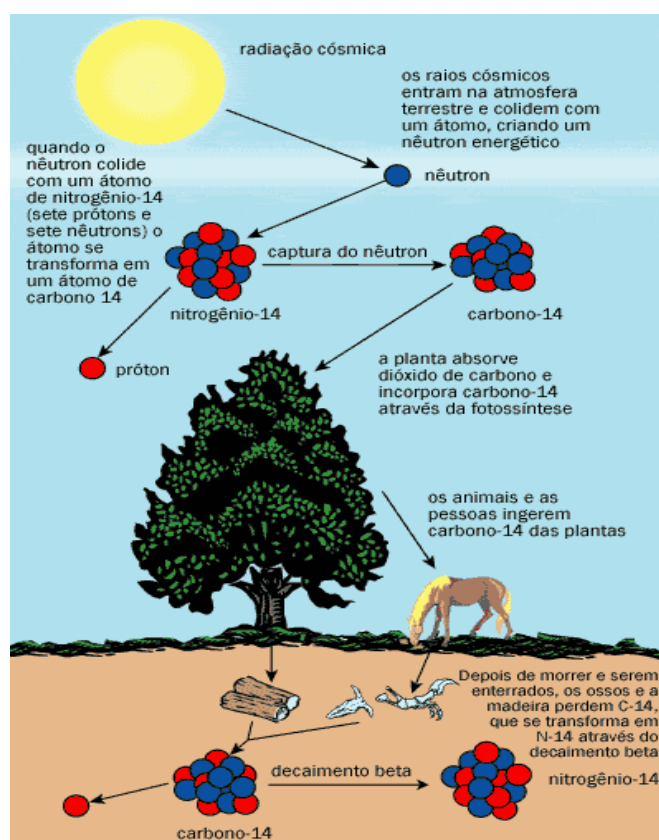
$$t = 19.041 \text{ anos de idade}$$

A meia-vida do carbono-14 possui 5.730 anos, deste modo ela apenas é utilizada de forma confiável em datações de objetos com até 60 mil anos. Entretanto, o modelo que se emprega para determinação de datas por carbono-14 pode ser aplicado a outros isótopos. Como por exemplo, o potássio-40 que é

um elemento radioativo presente de forma natural no corpo humano, possui meia-vida de 1,3 bilhão de anos. Outros radioisótopos empregados para a datação radioativa são o urânio-235 que tem meia-vida de 704 milhões de anos, urânio-238 apresenta meia-vida de 4,5 bilhões de anos, tório-232 com meia-vida de 14 bilhões de anos e o rubídio-87 que possui meia-vida de 49 bilhões de anos (PEZZO, 2002).

A utilização de diversos radioisótopos possibilita a datação de amostras biológicas e geológicas de forma a se obter resultados com alto grau de precisão. Porém, isso é possível atualmente, em um futuro, a datação por radioisótopos pode não funcionar com tanta precisão, uma vez que qualquer coisa que tenha perdido a vida após os anos 40, quando bombas nucleares, reatores nucleares e testes nucleares em céu aberto resultaram em mudanças, e assim fica difícil de datar com precisão. A figura 9 abaixo traz uma representação gráfica do decaimento da quantidade de carbono-14 presente no tecido orgânico morto, com o passar dos anos (FRANCISCO *et al.*, 2011).

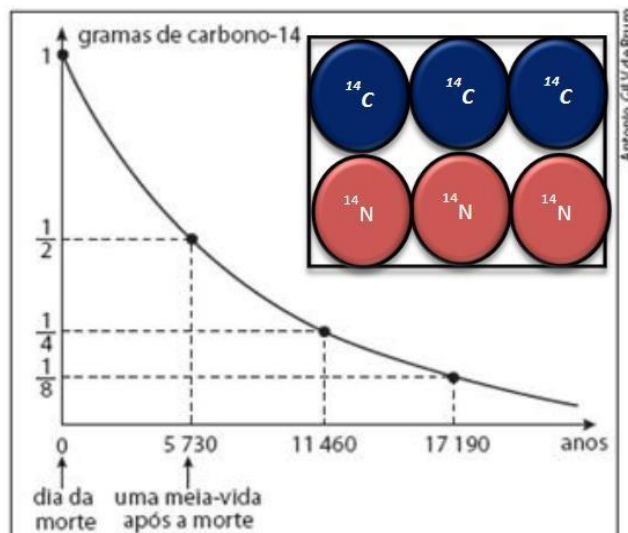
**Figura 9 – Decaimento do Carbono-14**



Fonte: [www.esquadraodoconhecimento.wordpress.com](http://www.esquadraodoconhecimento.wordpress.com)

Ao longo dos anos, os restos do antigo ser vivo fica mais pobres em carbono-14 devido ao seu decaimento radioativo como pode ser visto na figura 10 abaixo.

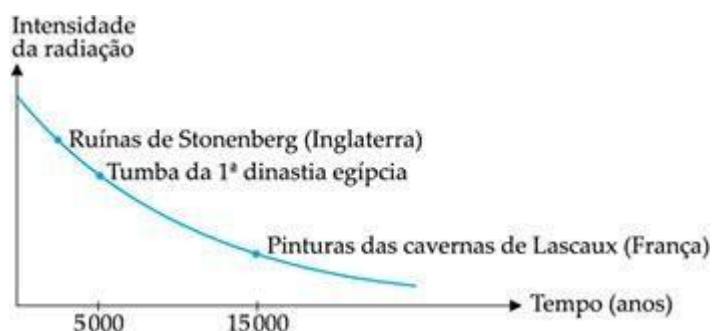
**Figura 10** – Gráfico do decaimento do C-14



Fonte: Antônio Gil V de Brum

Na figura 11 abaixo é possível verificar que com este tipo de datação, pode-se fazer gráficos da história e da pré-história no modelo de esquema abaixo.

**Figura 11** – Exemplo de datação



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

### 2.3.7. Importância do Carbono-14 na datação de fósseis

Fósseis são restos dos animais ou plantas preservadas nas rochas. Normalmente apenas partes mais resistentes são preservadas, como ossos e dentes. Marca das patas podem também fossilizadas. Os fósseis levam milhões de anos para se formar e são importantes ferramentas para os geólogos e

biólogos, permitindo a identificação do paleoambiente, ambientes antigos em que ocorreu a formação das rochas, gerador das rochas sedimentares assim como sua idade aproximada, a movimentação dos continentes e a variação do clima. Sua importância econômica, hoje, é oferecer informações para encontrar óleo, gás natural e petróleo (PEZZO, 2002).

A técnica que possibilita a identificação da idade de fósseis, vestígios, peças ou objetos pertencentes a épocas passadas, é denominada de datação. Elas podem ser classificadas em dois grupos sendo as relativas e as absolutas. Sendo que as relativas se pautam em comparar materiais ou objetos entre si, e isso resulta em uma classificação cronológica em um conjunto estudado. Assim, no século XIX, os geólogos construíram uma escala relativa do tempo. Já os métodos absolutos para datação, determinam com precisão a idade real (FRANCISCO *et al.*, 2011).

O átomo de carbono-14 estabelece uma combinação com oxigênio resultando em dióxido de carbono, que é absorvido de forma natural pelas plantas, e estas ficam impregnadas a suas fibras através da fotossíntese. Os animais e seres humanos se alimentam com as plantas e conseqüentemente ingerem o carbono-14 também. A relação de carbono com carbono-12 pela de carbono-14 na atmosfera e nos seres vivos mantém-se constante durante quase todo o tempo. Fazendo uma estimativa pode-se dizer que em cada trilhão de átomos de carbono um seja um átomo de carbono-14. Os átomos de carbono-14 encontram-se em decaimento, porém são repostos por novos átomos de carbono-14, mantendo uma taxa constante (FRANCISCO *et al.*, 2011).

Em vida, os animais e vegetais, absorvem grande quantidade de CO<sub>2</sub> através do carbono-14, e após a morte essa absorção cessa, portanto, inicia-se o decaimento de carbono-14 no organismo já não vivo. Após 5730 anos ou também chamadas de meia-vida, a radioatividade do carbono-14 cai pela metade, tornando possível o cálculo da idade do fóssil, ou, datação (FRANCISCO *et al.*, 2011).

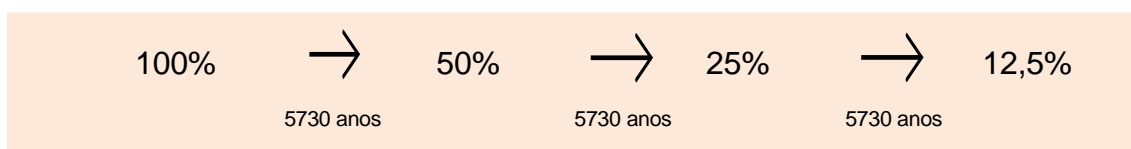
Porém, esta técnica de datação possui limitações, sendo uma delas a consideração de que a quantidade de carbono-14 na atmosfera é constante com o passar do tempo (acima de 20000 anos), que passa a ser dúbil. Além disso, objetos que possuem cerca de cem anos não podem ser datados, pois neste período de tempo a quantidade de radiação emitida terá reduzido muito pouco

para detectar alguma diferença. Objetos que possuem mais de 40.000 anos, ou seja, conseqüentemente quase sete meias-vidas, entram na dubildade, já que após esse período de tempo, a radiação emitida pode estar próxima a zero. Sendo a técnica aplicada com boa margem de segurança para objetos com 100 a 40000 anos de idade (PEZZO, 2002).

Esse isótopo radioativo está presente nos organismos e na Terra em uma concentração constante de 10 ppb, ou seja, em cada bilhão de átomos, existem 10 átomos de carbono-14. Os animais, pessoas e vegetais absorvem esse radioisótopo ao longo de suas vidas, parando de absorvê-lo somente quando morrem e esse radioisótopo começa a desintegrar-se. Visto que o período de meia-vida do carbono-14 é de 5730 anos, é possível medir a concentração de carbono-14 no fóssil e determinar a sua idade (PEZZO, 2002).

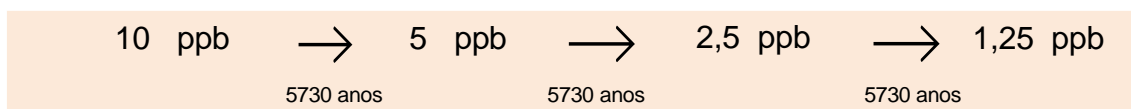
Por exemplo, se um fóssil animal foi analisado e determinou-se que ele apresenta um teor de carbono-14 igual a 1,25 ppb. Esse valor corresponde a 12,5% do teor de carbono encontrado nos seres que estão vivos. Assim, desde que o animal morreu o carbono-14 presente nele, completou três meias-vidas, o que dá um total de 17190 anos. Observe as figuras 12 e 13 que apontam a meia-vida do carbono-14:

**Figura 12 – Meia-vida do carbono-14**



Fonte: o autor.

**Figura 13 – Meia-vida do carbono-14**



Fonte: o autor.

Portanto, a idade do fóssil é  $5730 \text{ anos} \times 3 = 17190 \text{ anos}$ .

### 3 METODOLOGIA

Tartuce (2006) afirma que a metodologia científica é referente ao método e ciência. A palavra Método, do grego *methodos* ou *met'hodos*, tem como significado, trajetória ou caminho para chegar a um objetivo, e é, portanto, o caminho em direção ao objetivo estabelecido; e metodologia que trata do estudo do método, em outras palavras, seriam as regras e procedimentos previamente estabelecidas que delineiam a pesquisa; já científica vem de ciência, que é o conjunto de conhecimentos precisos e metodicamente ordenados em relação a determinado domínio do saber.

Assim, neste capítulo são descritos os procedimentos metodológicos empregados nesta pesquisa. Inicia-se com o problema da pesquisa e a sua natureza, segue com o contexto da pesquisa, os participantes da pesquisa, instrumento de coleta de dados e finaliza com uma descrição do produto educacional elaborado como proposta de ensino de Física.

#### 3.1. PROBLEMA DA PESQUISA E SUA NATUREZA

A UEPS proposta nesta pesquisa visa uma aplicação diferenciada e estruturada do assunto de radiação com ênfase em datação por carbono-14. É pautada em aprendizagem significativa em que se levantam os conhecimentos prévios dos alunos e, após o emprego da unidade de ensino, aplica-se um pós-teste com intuito de avaliar se houve construção do conhecimento com o modelo de ensino aplicado.

Assim, o problema da pesquisa aqui se pautou em pensar, elaborar e propor uma maneira de aplicação do conteúdo de física nuclear assim como o radioisótopo carbono-14 para datação de matéria orgânica que pudessem ser trabalhados de forma a contribuir para uma aprendizagem significativa dos alunos da terceira série no ensino médio.

Fundamentando-se em Gil (2010), a classificação prevista como método científico empregado nessa pesquisa quanto à sua abordagem como qualitativa, uma vez que o interesse central está nos significados que as pessoas, em suas ações e interações, atribuem dentro de um contexto, social.



Do ponto de vista de sua natureza, pode-se dizer que ela é uma pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicações práticas dirigidas à solução de problemas específicos.

Do ponto de vista dos objetivos, trata-se de uma pesquisa descritiva, que objetiva descrever as características de certa população ou fenômeno, ou estabelecer relações entre variáveis; envolvem técnicas de coleta de dados padronizadas (questionário, observação); assume em geral a forma de levantamento.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, considera-se ser uma pesquisa interpretativa, pois, é visto que as microculturas das salas de aulas são diferentes entre si (ERICKSON, 1986, p.130).

Segundo Moreira, uma pesquisa interpretativa de intuito de analisar de forma crítica os significados segundo seu contexto (2011, p. 49):

O investigador interpretativo observa participativamente, de dentro do ambiente estudado, imerso no fenômeno de interesse, anotando cuidadosamente tudo que acontece dentro nesse ambiente, registrando eventos – coletando documentos tais como trabalhos de alunos, materiais distribuídos pelo professor, ocupa-se não de uma amostra no sentido quantitativo, mas de grupos ou indivíduos em particular, de casos específicos, procurando escrutinar exaustivamente determinada instancia tentando descobrir o que há de único nela, e o que pode ser generalizado a situações similares (MOREIRA, 2011, p. 50).

### 3.2. PARTICIPANTES DA PESQUISA

O público envolvido nesta pesquisa foram alunos da 3<sup>o</sup> série do ensino médio de uma escola privada situada na cidade de Arapongas, estado do Paraná, região sul do Brasil. O estudo contou com a participação de 9 alunos com idade média de 16 anos. A proposta de ensino teve a duração de 4 aulas previstas para o tema, na disciplina de Física.

**Quadro 1** – Codificação dos participantes da pesquisa

Participantes	Código
Aluno 01	A01
Aluno 02	A02
Aluno 03	A03
Aluno 04	A04
Aluno 05	A05
Aluno 06	A06

Aluno 07	A07
Aluno 08	A08
Aluno 09	A09

### 3.3. COLETA DE DADOS E OS INSTRUMENTOS DE COLETA

As atividades que constituem as etapas estabelecidas nesta UEPS são imprescindíveis no ensino de Física. De acordo com Pinho-Alves, atividades desenvolvidas com aspectos neste âmbito, em uma concepção construtivista:

[...] devem estar intimamente ligadas ao fenômeno didático que, sob orientação do professor, irá desencadear e mediar o diálogo construtivista na sala de aula. Fenômeno didático é entendido aqui como a dinâmica da mediação planejada pelo professor, e sua execução de forma induzida por meio do diálogo construtivista na elaboração do conhecimento científica na sala de aula (PINHO-ALVES, 2000, p. 262).

Um dos instrumentos de coleta de dados é um questionário aplicado como pré-teste, com a finalidade de averiguar o conhecimento que os estudantes apresentam com relação ao conteúdo proposto. Composto por 5 questões subjetivas, que deverão ser respondidas antes de qualquer explicação do conteúdo. Essas respostas servirão de parâmetro para posteriormente realizar uma comparação se algo mudou, ou seja, se houve mudança de conhecimento dos alunos após a realização da aula. Outro intuito do pré-teste consiste na percepção e identificação do conhecimento que os alunos possuem para que o conteúdo seja iniciado de forma a se adaptar ao que o aluno já conhece sobre o assunto. Todos os questionários devem ser respondidos individualmente, mesmo quando houver atividade em grupo.

Na sequência, um segundo questionário é aplicado após uma explanação do tema e leitura de texto proposto. Esse questionário também é fonte de coleta de dados, com finalidade de ver como está a compreensão dos alunos após primeira tomada de explicações, discussões e leitura. É composto por 4 questões descritivas.

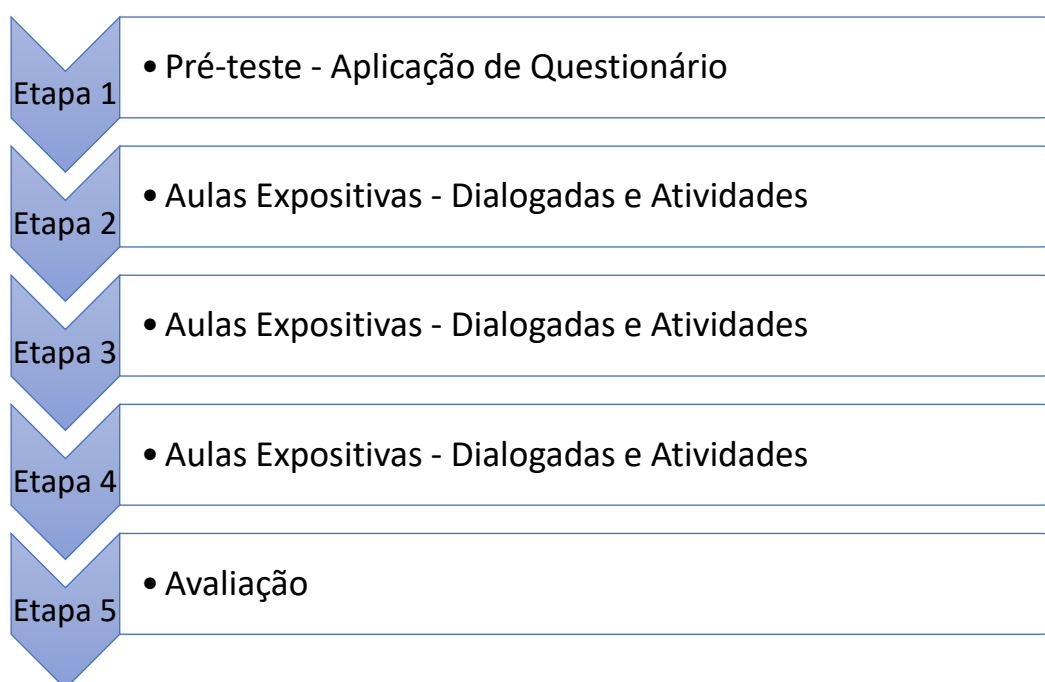
O pós-teste, que é também um questionário instrumento de coleta de dados, é aplicado ao final de todas as etapas com a finalidade de avaliação ao final do processo de explanação dos conteúdos e manuseio dos simuladores,

como também discussão sobre o conteúdo, constituído por 5 questões sendo 2 questões subjetivas e 3 de múltiplas escolhas. Tanto o pré-teste quanto o pós-teste se encontram em anexo ao trabalho.

### 3.4. PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional elaborado nesta pesquisa é uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, com abordagem no ensino das radiações com ênfase em datação por carbono-14. Desenvolvida em 5 etapas que consistiram em 4 aulas de aproximadamente 50 minutos, com explanação de conteúdo e uso de simuladores para compreensão do conteúdo. O produto educacional elaborado nesse contexto tem o intuito de tornar o tema melhor compreendido e mais plausível de entendimento.

**Figura 14 – Etapas da UEPS**



## 4 ANÁLISES DE DADOS

Nesta seção apresentamos os dados como resultados provenientes da aplicação do produto educacional proposta como forma de ensino-aprendizagem do conteúdo para ensino médio.

### 4.1. APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Os dados coletados são provenientes das aplicações dos questionários, que ao todo contabilizaram 3 questionários. As respostas esperadas pelo aluno como correta está demarcada abaixo no quadro. O pré-teste ficou denominado de Quest. 01, o questionário aplicado na primeira aula após leitura do texto proposto ficou denominado de Quest 02 e o pós-teste é o Quest. 03. E os resultados de cada aluno seguem abaixo no quadro 2, a letra Q. se refere a questão, e é numerada de um a cinco de acordo com as quantidades de questões de cada questionário.

**Quadro 2 – Respostas do Quest. 01 (pré-teste)**

Aluno	Q. 01	Q. 02	Q.03	Q.04	Quest. 05
A01	Correta	Correta	Correta	Correta	Correta
A02	Correta	Correta	Correta	Correta	Correta
A03	Correta	Correta	Incorreta	Incorreta	Correta
A04	Correta	Correta	Incorreta	Incorreta	Correta
A05	Correta	Correta	Incorreta	Incorreta	Incorreta
A06	Correta	Incorreta	Incorreta	Correta	Incorreta
A07	Incorreta	Correta	Incorreta	Correta	Incorreta
A08	Correta	Incorreta	Incorreta	Incorreta	Correta
A09	Correta	Incorreta	Incorreta	Incorreta	Correta

Exemplo de algumas respostas consideradas corretas para o questionário 01: *“A arqueologia é estudo de fósseis e nos ajuda a entender partes da história do nosso planeta”*. (Q.01; A01). *“São isótopos radioativos decaem com ficam estáveis, tendo seus núcleos rompidos”*. (Q.03; A02).

Exemplo de algumas respostas consideradas incorretas para o questionário 01: *“É o tempo que o elemento fica mais potente”*. (Q.04; A05). *“Vem algo relacionados a moléculas”*. (Q.02; A09).

**Quadro 3 – Respostas do Quest. 2 (pós-leitura de texto)**

Aluno	Q. 01	Q. 02	Q.03	Quest. 04
A01	Correta	Correta	Correta	Correta
A02	Correta	Correta	Correta	Correta
A03	Correta	Correta	Correta	Correta
A04	Correta	Correta	Correta	Correta
A05	Correta	Correta	Correta	Correta
A06	Correta	Correta	Correta	Correta
A07	Correta	Correta	Correta	Correta
A08	Correta	Correta	Incorreta	Incorreta
A09	Incorreta	Correta	Incorreta	Correta

Exemplo de algumas respostas consideradas corretas para o questionário 02: *“Serve para datar coisas orgânicas, como ossos, tecidos, madeira ou papel”*. (Q.01; A03). *“Quantifica o percentual de carbono 14 presente em determinado material ou amostra”*. (Q02; A08).

Exemplo de algumas respostas consideradas incorretas para o questionário 02: *“Somente para o osso, tecido, madeira e papel”*. (Q.03; A09)

**Quadro 4 – Respostas do Quest.03 (pós-teste)**

Aluno	Q. 01	Q. 02	Q.03	Q.04	Quest. 05
A01	Correta	Correta	Correta	Correta	Correta
A02	Correta	Correta	Correta	Correta	Correta
A03	Correta	Correta	Correta	Correta	Correta
A04	Correta	Correta	Incorreta	Correta	Correta
A05	Incorreta	Correta	Correta	Correta	Correta
A06	Incorreta	Correta	Incorreta	Correta	Correta
A07	Correta	Correta	Incorreta	Correta	Correta
A08	Incorreta	Correta	Correta	Correta	Correta
A09	Correta	Correta	Incorreta	Correta	Correta

Exemplo de algumas respostas consideradas corretas para o questionário 03: *“A radiação gama não passa de uma onda eletromagnética de alta frequência, ou seja, ela não possui carga, número de massa e nem número*

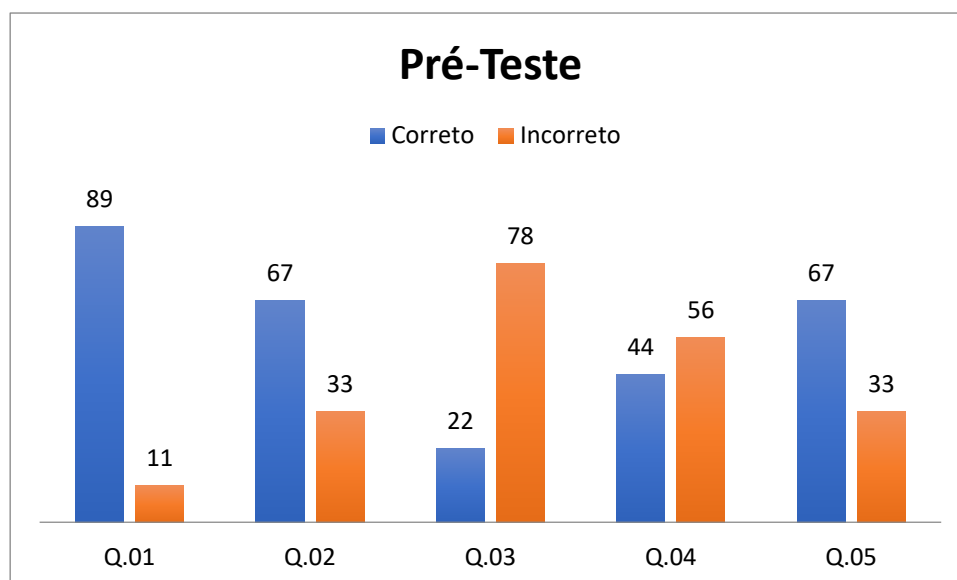
atômico: dessa forma, em um decaimento gama, o número de prótons e o número de nêutrons não se altera”. (Q.01; A01).

Exemplo de algumas respostas consideradas incorretas para o questionário 03: “Uma fórmula de radiação que irradiam de alguns organismos”. (Q.03; A06).

## 4.2. ANÁLISE DOS DADOS

Nesta análise dos dados, todas as informações obtidas por meio do questionário foram comparadas, com o objetivo principal de analisar inicialmente quanto de conteúdo os alunos sabiam, e posteriormente ao final, quanto mudou com relação ao conhecimento, após aplicação da UEPS.

**Gráfico 1 – Percentual de erros e acertos no questionário pré-teste**



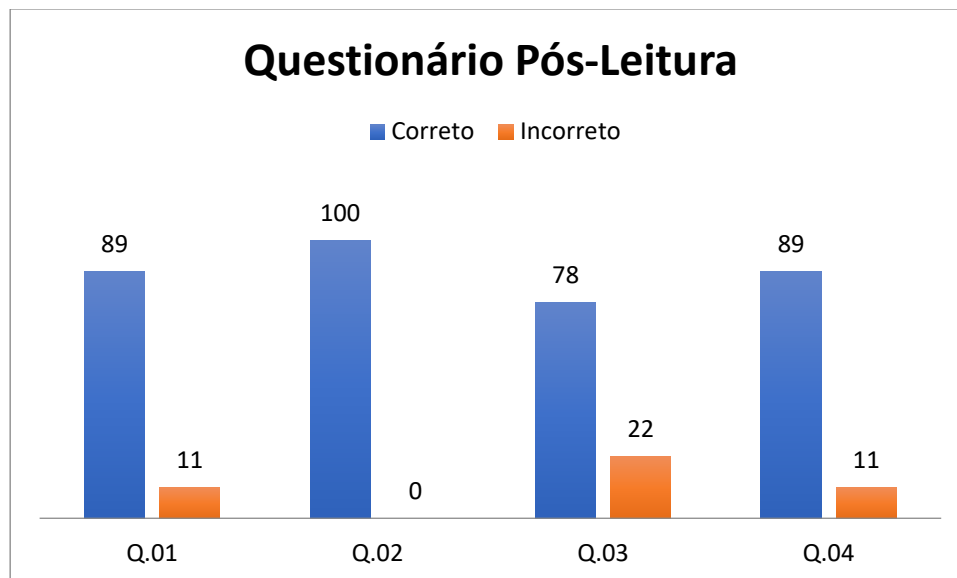
Fonte: Pesquisa realizada mês out e nov de 2022.

Avaliando o gráfico do pré-teste pode-se notar questões com maiores acertos, mas questões com menor percentual de certo dos alunos, podendo-se inferir que é possível algum conhecimento dos alunos, mas alguns conceitos não tão claros, que levou as respostas incorretas.

No gráfico 2 abaixo, observa-se após a leitura do texto proposto o conhecimento dos alunos melhoraram, e com as respostas das questões vê-se que foi possível melhores respostas. Apesar de que como as questões foram baseadas no texto e o texto estava em posse dos alunos, foi possível que eles respondessem o questionário consultando as respostas. Porém, tiveram que

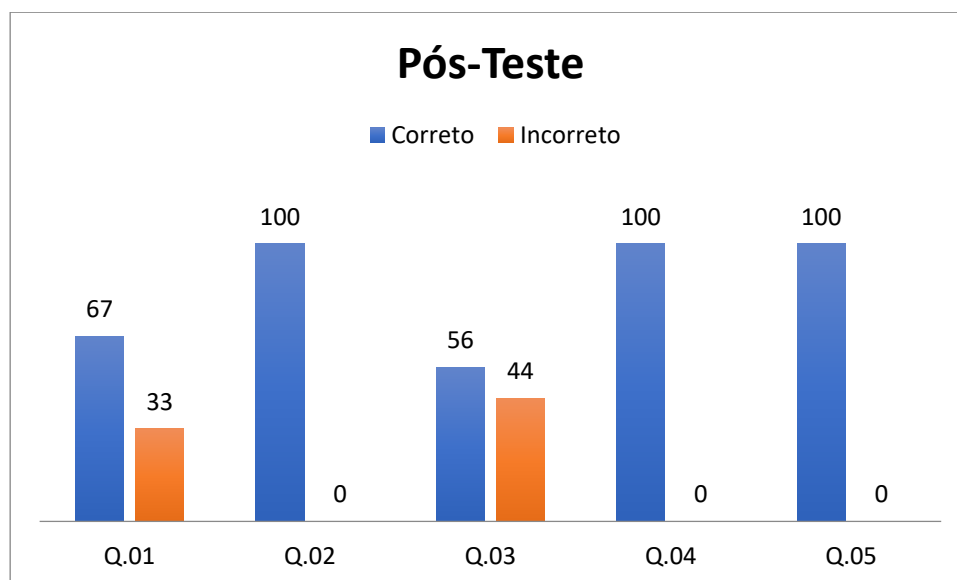
elaborar a respostas de forma a melhorar o entendimento e conhecimento do conteúdo.

**Gráfico 2 – Percentual de acertos no questionário pós-leitura de texto proposto**



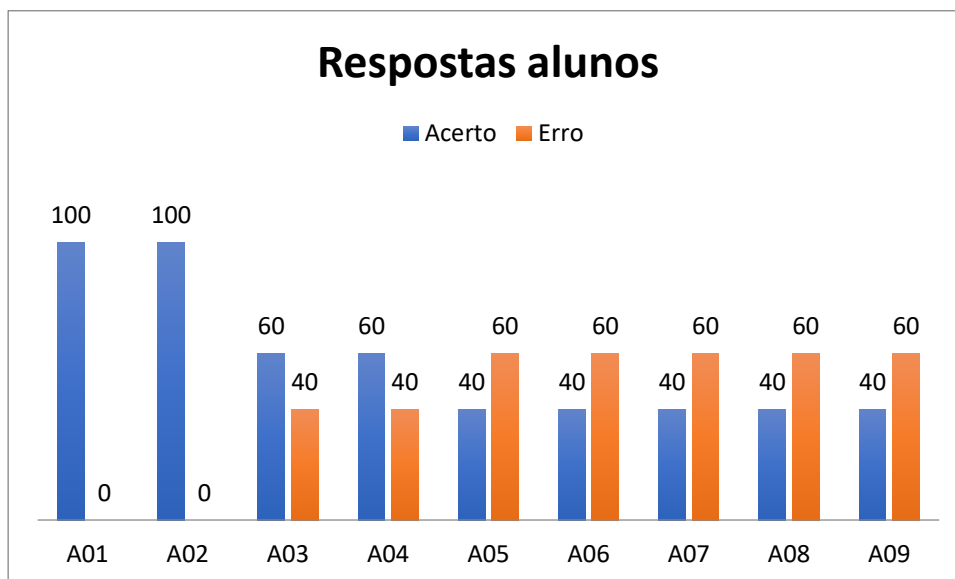
Fonte: Pesquisa realizada mês out e nov de 2022.

**Gráfico 3 – Percentual de erros e acertos no questionário pós-teste**



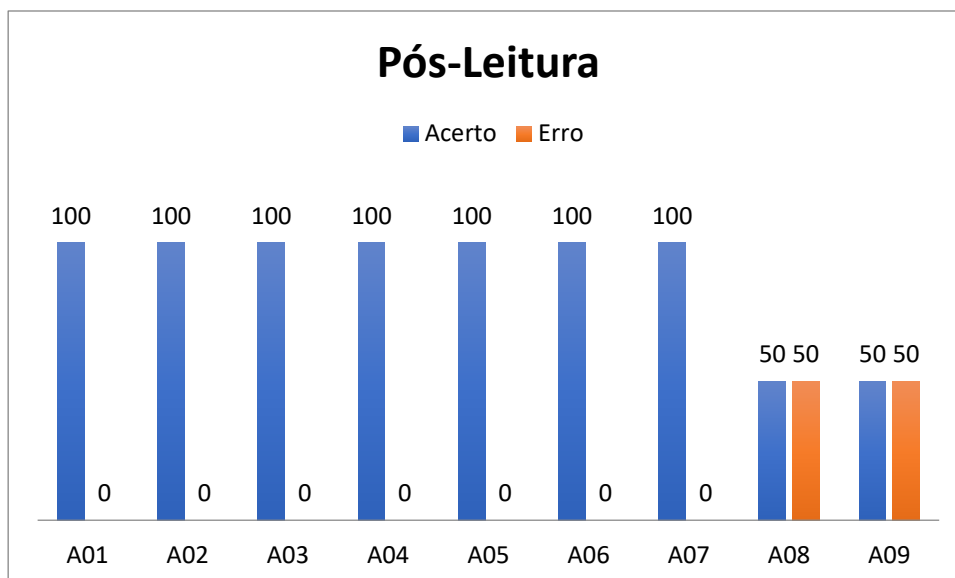
Fonte: Pesquisa realizada mês out e nov de 2022.

No pós-teste observa-se que o número de acertos foi maior comparado aos erros, isso com relação a cada questão respondida, inferindo-se que no geral os alunos puderam melhorar seu conhecimento referente ao assunto aplicado. Sendo que o propósito de ensino-aprendizagem do conteúdo foi alcançado.

**Gráfico 4 – Percentual de erros e acertos por aluno no pré-teste**

Fonte: Pesquisa realizada mês out e nov de 2022.

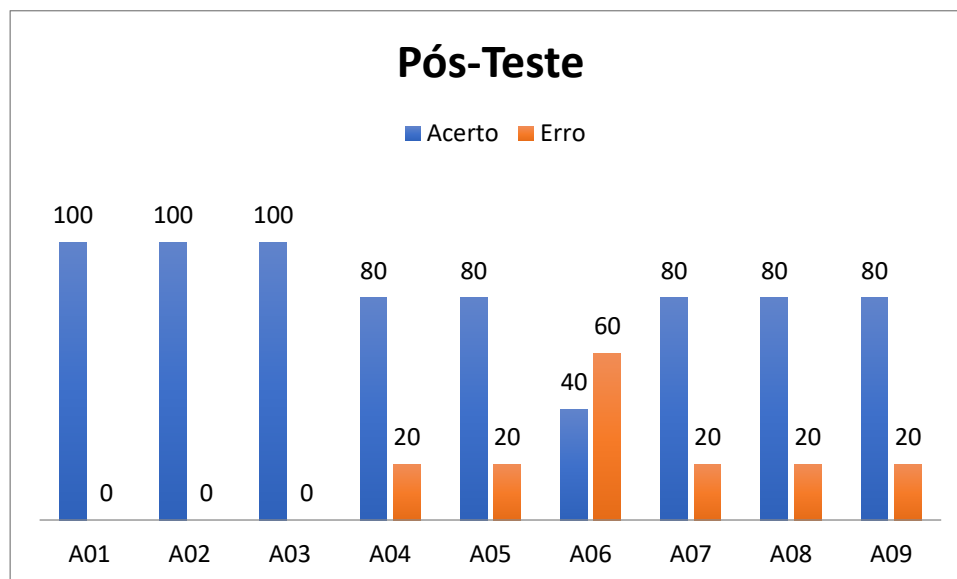
Ao analisar as respostas de cada aluno, pode-se inferir que dos nove alunos, cinco deles tiveram mais erros que acertos no pré-teste, dois tiveram um percentual de acertos maior que erros, e 2 outros tiveram 100% de acerto nas respostas das questões.

**Gráfico 5 – Percentual de erros e acertos no questionário pós-leitura**

Fonte: Pesquisa realizada mês out e nov de 2022.

Na análise das respostas do questionário pós-leitura do texto, sete alunos acertaram todas as questões, e dois tiveram 50% de acerto e erro. Lembrando que aqui, nesse momento, os alunos puderam consultar o texto para responder, ou seja, a técnica aplicada é parte do processo de construção do conhecimento.



**Gráfico 6** – Percentual de erros e acertos por aluno no questionário pós-teste

Fonte: Pesquisa realizada mês out e nov de 2022.

No pós-teste, oito alunos obtiveram respostas com percentual de acertos maiores quando comparados aos erros. E, apenas um aluno indicou resultados percentuais de erro maior que os acertos.

Em uma leitura comparativa dos dados encontrados, após a aplicação do produto educacional, pode-se inferir que os acertos no pós-teste prevaleceram sobre os erros, indicando que o assunto abordado foi compreendido. Sendo 82% de acertos no pós-teste, contra 58% de acertos no pré-teste aplicado inicialmente.

Sendo assim, pode-se depreender que a unidade de ensino aplicada apontou resultados satisfatórios com relação ao ensino-aprendizagem dos alunos quando da comparação percentual obtidas nos questionários aplicados. Nem um tipo de avaliação por parte do aluno foi requerida para apontar possíveis melhorias ou queixas por parte deles.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa abordou uma proposta aplicada ao Ensino de Física Nuclear para o Ensino Médio com ênfase em Datação por Carbono-14, e diante dos resultados apresentados no pré-teste e no pós-teste, é possível inferir que houve rendimento na aprendizagem por parte dos alunos, indicando que o material proposto é potencialmente significativo. Em uma análise geral dos tópicos abordados no pré-teste, grande maioria dos alunos não apresentaram conhecimento claro do assunto radioatividade.

E, apesar dos alunos viverem submerso em um mundo tecnológico e informatizado, a facilidade de interação de estudo com a informação é alto, porém, muitas das vezes não andam juntas. Sendo que mesmo tendo a informação de determinada situação, não possuem o conhecimento de como ou porque aquilo ocorre ou ocorreu.

Por fim, pode-se dizer, que mesmo diante de diversas problemáticas no decorrer da aplicação do produto, pode-se dizer que o mesmo é aplicável, que conceitos foram ressignificados, e pode-se observar uma contribuição para alfabetização científica. Uma vez que gerou resultados satisfatórios evidenciado na comparação dos resultados realizados, por questão e por aluno. Mesmo com algumas dúvidas que surgiram inicialmente na utilização do simulador Phet Colorado, mas que com o auxílio do professor foi sendo esclarecidas, o seu uso não foi inviabilizado e muito menos afetou o resultado final, pelo contrário, após compreenderam seu funcionamento, o mesmo auxiliou no aprendizado. Dessa forma, considera-se o resultado encontrado na aplicação da unidade de ensino positivo, sendo possível identificar e aprimorar representações sociais dos envolvidos, contribuindo para que esses tenham capacidade de elaborar juízo de valor acerca do assunto, e aproximando-os ainda de ferramentas tecnológicas que facilitam o ensino, tornando-o mais interativo e prazeroso.

## REFERÊNCIAS

ALVES, L. Radioisótopos. *R7. Brasil Escola*. Acesso em 05 de junho 2021.

ALVES DE SOUZA, L. Radioisótopos. *Terra. Mundo Educação*. Acesso em 05 de junho 2021.

AMABIS, José Mariano, MARTHO, Gilberto Rodrigues. *Biologia*. volume 3. São Paulo: Moderna, 2004.

ANDRADE, V. A.; GROSS, J. L.; MAIA, A. L. Iodo Radioativo no manejo do hipotireoidismo da doença grave. *Arq Bras Endocrinol Metab*. 48 (1). 2004.

AUSUBEL, D. P. *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: Grune and Stratton. 1963. Acesso em 08 de junho 2021.

AUSUBEL, D. P. *Educational Psychology, A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehartand Winston, Inc, 1968. Acesso em 05 de junho 2021.

AUSUBEL, D. P. *A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982. Acesso em 05 de junho 2021.

ATKINS, P.; JONES, L. *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. Porto Alegre. Bookman. 5ed. 2012.

BONJORNO, José Roberto; BONJORNO, Regina Azenha; BONJORNO, Valter; CLINTON, Márcico Ramos. *Física História & Cotidiano*. São Paulo: Editora FTD, 2004.

CARDOSO, E. M. *A Energia Nuclear*. Apostila educativa. 3 ed. Rio de Janeiro. CNEN. 2012.

CESAREO, R. *Dos raios X a bomba atômica (1895-1945): os 50 anos que mudaram o mundo*. Embrapa Informação Tecnológica. Brasília. 2010.

DIAS, Diogo Lopes. Desintegração radioativa. *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/desintegracao-radioativa.htm>. Acesso em 11 de julho 2022.

FELTRE, Ricardo. *Química*. Volume 2. São Paulo: Moderna, 2005.

FELTRE, R. YOSHINAGA, S. *Atomística: teoria e exercícios*. São Paulo. Ed Moderna. 1974.

FEUERSTEIN, R.; RAND, Y.; HOFFMAN, M.B.; MILLER, R. *Instrumental enrichment: an intervention program for cognitive*. Scott. Foresmanand Company. Illinois. Glenview. 1980.

FERNANDES, H. M.; RIO, M. A. P.; FRANKLIN, M. R. *Impactos Radiológicos da Indústria do Fosfato*. Série estudos e Documentos. Cetem. 2004.

FERNANDEZ MARTINEZ, V. M. *Teoría e Metodo de la arqueología*. Madrid. Espanha. Sintesis. 2000.

FERREIRA, F. J. F.; RIO, M. A. P.; ROCHA, H. O.; MANTOVANI, L. E. *Airborne gamma-ray spectrometry and remote sensing to map uranium acculation in soils from long-continued application of fertilizantes in Araras region*. 12h Conference Applied Geologic Remote Sensing. 1997.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. *Meia-vida dos elementos radioativos*. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/meia-vida-dos-elementos-radioativos.htm>. Acesso em 02 de agosto 2021.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. *Séries Radioativas. Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/series-radioativas.htm>. Acesso em 11 de julho de 2021.

FRANCISCO, J. A. S.; LIMA, A. A.; ARÇARI, D. P. *Datação por Carbono 14*. 2011. Disponível em: [portal.unisepe.com.br](http://portal.unisepe.com.br). Acesso em 20 de agosto 2022.

GIL, A.C. *Como elaborar projetos de pesquisas*. São Paulo. Atlas. 2010.

HEWITT, Paul G. *Física Conceitual*. Porto Alegre: Editora: Bookman, 11ª. Ed. v. único. 2011.

KATHREN, R. L. *Aplicação de Radiação e Isótopos*. Vol 49 (3). 1998.

MACARIO, K. C. D. *Preparação de Amostras de RadioCarbono e Aplicações de MAS em Arqueologia e Geologia Marinha*. Tese. Universidade Federal Fluminense, Instituto de Física, Niteroi, 138p. 2003.

MELQUIADES, F. L.; APPOLONI, C. R.  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{232}\text{Th}$  activities in Brazilian milk samples measure by gamma ray spectrometry. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*. 2002.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e Aprendizagem Significativa. *Revista GaláicoPortuguesa de Sócio-Pedagogia e Sócio-Linguística*. v. 23, n. 28, p. 87-95, 1988. Acesso 05 de junho 2021.

MOREIRA, M. A. *Mapas Conceituais no Ensino de Física*. Textos de apoio ao professor de Física. Porto Alegre: Instituto de Física UFRGS, n.3, 44p, 1992. Acesso em 05 de junho 2021.

MOREIRA, M. A. *Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas - UEPS*. Aprendizagem Significativa em Revista/ Meaningful Learning Review, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

NOVAK, J.D. *Aprender criar e utilizar conhecimento: mapas conceituais como ferramentas de facilitação nas escolas e empresas*. Lisboa. Plátano. 2003.

PEZZO, M. *Univerciência*. Dezembro. 2002.

Porto Editora – *lei de decaimento radioativo* na Infopédia [em linha]. Porto: Porto Editora. Disponível em: [https://www.infopedia.pt/\\$lei-de-decaimento-radioativo](https://www.infopedia.pt/$lei-de-decaimento-radioativo). Acesso em 03 de maio 2022.

SANTOS, J. O. *Datação Arqueológica por Termoluminescência a partir de Vestígios Cerâmicos do Sítio Justino da Região do Baixo São Francisco*. (Dissertação) Universidade Federal do Sergipe – Centro de Ciências exatas e Tecnologia. São Cristóvão – SE. 2002.

SANTOS, Magda. *Tecnologia Nuclear E Aplicações: Resignificações Dos Conceitos Com O Uso De Material Potencialmente Significativo Para Estudantes Do Ensino Médio*. São Cristóvão: Ufs, P.112, 2017.

SARTORI, R. H.; OLIVEIRA, T. C.; ÁVILA, M. A. P.; GIUNTI, O. D. Uso de isótopos na agricultura – a maximização da eficiência da produção agrícola. *Revista Campos*. MG. 2014.

SILVA, Davson Jose da. *A Problematização no Ensino da Radioatividade em Nível Médio*. 2019.

SILVA, M. L. Paleossolos, solos relíquia e solos fósseis, aplicação do método de datação. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 90. 090-117. 2011.

SOUZA, Líria Alves de. Decaimento radioativo natural. *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/decaimento-radioativo-natural.htm>. Acesso em 11 de julho 2021.

TIPLER, P. *Física: ótica e física moderna*. 3ed. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan. 1995.

VERGNE, M. C. S. *A arqueologia do baixo São Francisco: estruturas funerárias do sítio Justino*. Tese. Universidade de São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. 362p. 2004.

### APÊNDICE A - Questionário Pré-teste

1. Arqueologia: O que é isso? Qual a sua importância para a sociedade?
2. O que vem à sua mente quando houve esta palavra: isótopos radioativos.
3. Qual o seu conhecimento sobre decaimento radioativo?
4. O isótopo carbono-14 tem meia-vida de 5.730 anos, aproximadamente. O que é "meia-vida"?
5. A respeito de datação arqueológica. Como são feitas as datações de fósseis?

**APÊNDICE B - Questionário Pós-leitura de Texto**

1. A datação com carbono-14 pode ser utilizada para datar que tipo de materiais?
2. Como funciona o espectrômetro de massa no processo de datação de uma amostra?
3. Qual limitação para o uso desse método?
4. Qual a margem de erro/precisão da datação com carbono?

**APÊNDICE C - Questionário Pós-teste**

1) Por que o número de massa não muda após um decaimento gama?

2) Uma das aplicações nobres da energia nuclear é a síntese de radioisótopos que são aplicados na medicina, no diagnóstico e tratamento de doenças. O Brasil é um país que se destaca na pesquisa e fabricação de radioisótopos. O fósforo-32 é utilizado na medicina nuclear para tratamento de problemas vasculares. No decaimento deste radioisótopo, é formado enxofre-32, ocorrendo emissão de:

- a) Partículas Alfa
- b) Partículas Beta
- c) Raios gama
- d) Nêutrons
- e) Raios X

3) O que é uma partícula beta?

4) O núcleo atômico de alguns elementos é bastante instável e sofre processos radioativos para remover sua instabilidade. Sobre os três tipos de radiação  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , podemos afirmar que:

Quais afirmações verdadeiras?

- a) Ao emitir radiação  $\alpha$ , um núcleo tem seu número de massa aumentado.
- b) Ao emitir radiação  $\beta$ , um núcleo tem seu número de massa inalterado.
- c) A radiação  $\alpha$  é constituída por núcleos de átomos de hélio.
- d) Ao emitir radiação  $\gamma$ , um núcleo não sofre alteração em sua massa.
- e) Ao emitir radiação  $\beta$ , um núcleo tem seu número atômico aumentado em uma unidade.

5) A técnica do carbono-14 permite a datação de fósseis pela medição dos valores de emissão beta desse isótopo presente no fóssil. Para um ser em vida, o máximo são 15 emissões beta/ (min g). Após a morte, a quantidade de  $^{14}\text{C}$  se reduz a metade a cada 5730 anos. Considere que um fragmento fóssil de massa igual a 30 g foi encontrado em um sítio arqueológico,



e a medição de radiação apresentou 6750 emissões betas por hora. A idade desse fóssil, em anos, é (apresentar o cálculo).

- a) 450
- b) 1433
- c) 11460
- d) 17190
- e) 27000

**APÊNDICE D - Termo de Consentimento****TERMO DE CONSENTIMENTO****AUTORIZAÇÃO**

EU, \_\_\_\_\_,  
responsável pelo aluno \_\_\_\_\_,  
da Escola \_\_\_\_\_, da cidade  
de \_\_\_\_\_, Brasil, AUTORIZO a aluna de  
mestrado da Universidade Estadual de Londrina (Brasil), MARIA MADALENA DA  
SILVA, regularmente matriculada no Programa de Mestrado Nacional  
Profissional em Ensino de Física, da Universidade Estadual de Londrina (Brasil),  
a utilizar, parcial ou integralmente, dados coletados na forma de respostas a  
questionários para fins de pesquisa relacionados à constituição da dissertação e  
produto educacional, podendo divulgá-las em publicações, congressos e eventos  
da área com a condição de que os nomes dos envolvidos não serão citados em  
hipótese alguma.

Brasil, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2022.

NOME DO RESPONSÁVEL: \_\_\_\_\_

DOCUMENTO DE IDENTIFICAÇÃO: \_\_\_\_\_

TELEFONE: \_\_\_\_\_

ASS.: \_\_\_\_\_

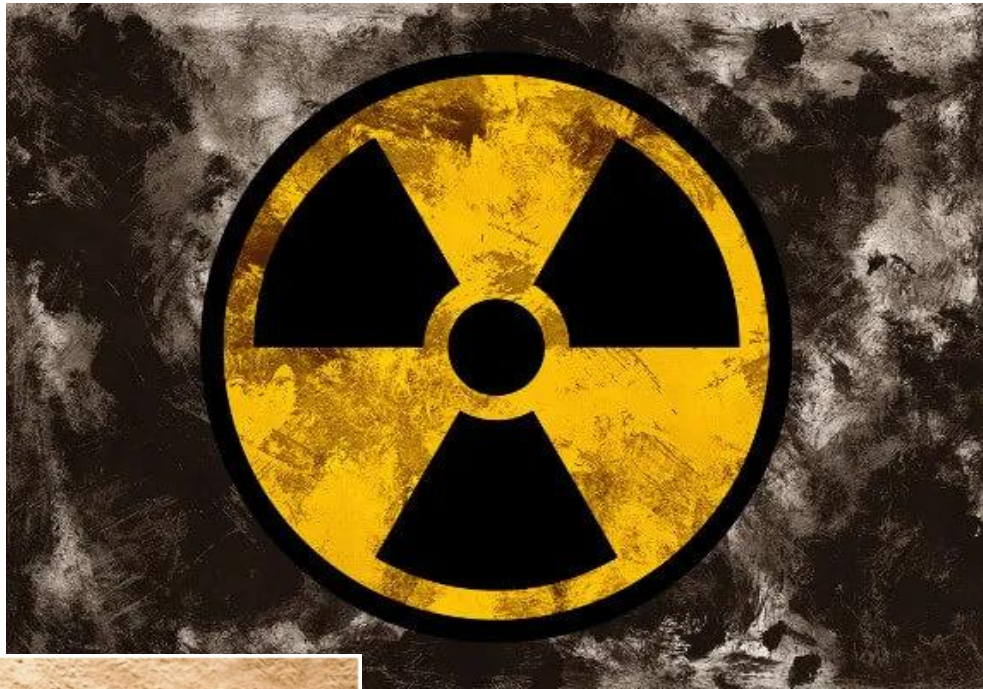
**APÊNDICE E - Produto Educacional**

**PRODUTO EDUCACIONAL:**  
UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE  
SIGNIFICATIVA (UEPS) PARA O ENSINO DE FÍSICA  
NUCLEAR COM ÊNFASE EM DATAÇÃO POR CARBONO-  
14



# ENSINO DE FÍSICA

## **ISÓTOPOS RADIOATIVOS E DATAÇÃO COM CARBONO 14**



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema das etapas da unidade de ensino.....	68
Figura 2 - Simulador Monte um Átomo.....	72
Figura 3 – Clicar na imagem central.....	73
Figura 4 – Clicar em Atom.....	73
Figura 5 – Simulador Construindo uma molécula .....	74
Figura 6 – Indicação se a molécula está neutra ou íon.....	74
Figura 7 – Decaimento Alfa .....	76
Figura 8 - Simulador com o decaimento Alfa .....	76
Figura 9 - Simulador com decaimento Beta .....	78
Figura 10 - Datação Radioativa .....	80
Figura 11 - Jogo da Datação Radioativa.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Montagem de átomos no simulador.....	72
Tabela 2 - Decaimento Alfa .....	77
Tabela 3 - Decaimento Beta.....	78
Tabela 4 - Datação Radioativa .....	81
Tabela 5 - Cronograma de planejamento da sequência didática.....	84

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SD	Sequência Didática
UEPS	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

## SUMÁRIO

1. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA.....	65
1.1. OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM.....	65
1.2. CONTEÚDOS.....	66
1.3. ESTRUTURA DAS AULAS.....	66
1.4. PHET COLORADO.....	66
2. PRODUTO EDUCACIONAL.....	67
2.1. ETAPA 01 – QUESTIONÁRIO: PRÉ-TESTE.....	68
2.2. ETAPA 02 – APROFUNDANDO CONHECIMENTOS: AULA EXPOSITIVA-DIALOGADA E ATIVIDADE PROPOSTA.....	71
2.3. ETAPA 03 – APROFUNDANDO CONHECIMENTOS: AULA EXPOSITIVA-DIALOGADA E ATIVIDADES PROPOSTAS.....	75
2.4. ETAPA 04 – APROFUNDANDO CONHECIMENTOS: AULA EXPOSITIVA-DIALOGADA E ATIVIDADE PROPOSTA.....	78
2.5. ETAPA 05 – AVALIAÇÃO DA UEPS EM SALA DE AULA.....	81
3. CRONOGRAMA.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85



## 1. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA

Este Produto Educacional foi desenvolvido visando auxiliar as dificuldades presentes no ensino do conteúdo de Física das Radiações e suas aplicações, no Ensino Médio, uma vez que evidencia-se divergências do assunto entre os livros didáticos disponíveis que apresentam o tema. Assim, uma sequência didática (SD) foi pensada e estruturada com o conteúdo de Isótopos Radioativos constituindo uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), no intuito de contextualizar os conceitos de isótopos instáveis, radioatividade, decaimento radioativo e meia-vida, em especial do Carbono-14 e, aplicar atividades que auxiliem o ensino e aprendizado do conteúdo de forma otimizada que não comprometa os demais conteúdos do currículo.

**Título da Unidade de Ensino:** Unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) para o ensino de física das radiações com ênfase em datação por carbono-14.

**Período de Aplicação:** \_\_/\_\_/2022 a \_\_/\_\_/2022.

**Carga horária prevista para aplicação:** 4 aulas

### 1.1. OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Geral:

Facilitar a aquisição de significados de conceitos básicos acerca da datação por carbono no 3º ano do Ensino Médio - isótopos instáveis, radioatividade, decaimento radioativo e meia-vida, em especial do Carbono-14.

Específicos:

- Aplicar uma UEPS que facilita a compreensão dos alunos a conceitos de Física Nuclear no Ensino Médio;
- Ensinar Radiação, Isótopos radioativos, Decaimento por meio de simulador;
- Ensinar Datação por Carbono-14 com uso de simulador e jogos.

## 1.2. CONTEÚDOS

- Radioisótopos
- Cadeias de decaimento radioativo
- Lei do decaimento radioativo
- Datação radioativa
- Datação de fósseis
- Estudos arqueológicos

## 1.3. ESTRUTURA DAS AULAS

A UEPS proposta teve por base os princípios didáticos pedagógicos e metodológicos, definidos nas Diretrizes Curriculares da Educação Básica do Estado do Paraná (PARANÁ, 2008), combinado a Base Nacional Curricular Comum (BRASIL, 2017), para a 3<sup>o</sup> série de Física do ensino médio, estruturada com atividades baseadas em contextualizações, simulações on-line, debates e discussões, atividades lúdicas, entre outras.

Sua aplicação é prevista para a terceira série do Ensino Médio, porém, pode ser utilizada em outras séries da educação básica com as devidas adaptações, considerando o contexto e perfil dos alunos.

## 1.4. PHET COLORADO

O projeto PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder, são programas de computador que criam simulações interativas gratuitas de matemática e ciências. O foco das pesquisas desses é educação. O intuito é a interatividade dos alunos, que pretende resgatar os discentes e levarem a exploração de simulações, aprendizagem de conceitos de uma maneira divertida de forma a promover conhecimento. Para a atividade desta pesquisa, o intuito foi visualizar modelos diferentes, e mostrar conceitos dos modelos, como também reconhecer a datação por meio de jogos de simulação.

Para acessar basta entrar em um navegador e na caixa de endereços colocar o link ou buscar no Google: <https://phet.colorado.edu>. Não é necessário cadastramento ou login para acessar.

Acessando a página, haverá no canto superior direito algumas palavras com possibilidades de acesso, deve ser clicado na palavra “SIMULATIONS”, que abrirá uma nova caixa de possibilidades, e a escolha deve ser “Physics”. Os resultados dessa página são vários simuladores de física. Escolher o simulador indicado em cada atividade clicando nele. Ou caso tenha o nome do simulador, é possível buscalo no campo de busca também encontrado no canto superior direito.

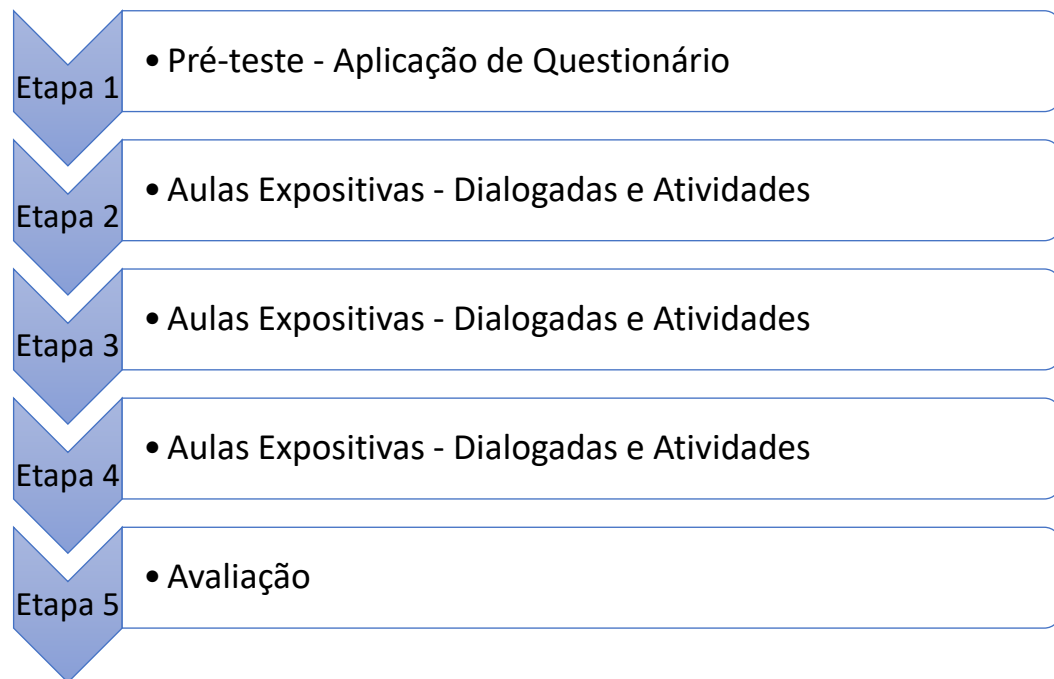
## **2. PRODUTO EDUCACIONAL**

O produto educacional desenvolvido foi uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o ensino das radiações com ênfase em datação por carbono-14, que foi pautada na teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. Ela encontra-se dividida em 5 etapas que são descritas na sequência. Sendo os passos iniciais:

- Explicar aos estudantes o funcionamento da sequência didática e a importância do empenho dos estudantes para que a metodologia funcione;
- Levantar os conhecimentos prévios dos alunos sobre radioisótopo; datação; decaimento.
- Estimular a curiosidade e o desejo de um novo conhecimento por parte dos alunos.

Na figura 1 a seguir tem-se um esquema de como as etapas desta unidade de ensino é desenvolvida.

**Figura 15** - Esquema das etapas da unidade de ensino



## 2.1. ETAPA 01 – QUESTIONÁRIO: PRÉ-TESTE

Inicialmente é aplicado um pré-teste, que tem por intuito diagnosticar o conhecimento prévio dos alunos, a fim de compreender quais conceitos os estudantes possuem do tema, e a partir desses conceitos pré-existentes esclarecer o conteúdo de forma a considerar a carga de conhecimento advinda dos alunos, reiterando os conhecimentos que estão equivocados e reafirmando os que estão corretos, inserindo novos.

Dessa forma, com a aplicação do pré-teste, é possível identificar os conceitos que os estudantes possuem, e quando identificados estes possam ser internalizados para uns e redefinidos para outros, formando assim um novo conhecimento, e este passa a ter significado diante de sua realidade.

O conhecimento já existente do assunto é ponte de conexão as novas informações, e progressivamente o subsunçor vai ficando mais estável, mais diferenciado, criando significados, e cada vez mais auxilia às novas “aprendizagens” (MOREIRA, 2010, p.1). Nessa perspectiva, o nível de conhecimento dos alunos é avaliado, uma vez que não há interferência do professor na realização do pré-teste,

cujo intuito é conhecer melhor os alunos. E, neste caso, alunos da terceira série do ensino médio, envolvidos na aplicação do produto.

Abaixo seguem as questões investigativas elaboradas para o pré-teste. São todas questões subjetivas nas quais o aluno deverá responder de forma manuscrita de acordo com seu conhecimento próprio, sem intervenção do docente.

### Questionário 01

1. Arqueologia: O que é isso? Qual a sua importância para a sociedade?
2. O que vem à sua mente quando houve esta palavra: isótopos radioativos.
3. Qual o seu conhecimento sobre decaimento radioativo?
4. O isótopo carbono-14 tem meia-vida de 5.730 anos, aproximadamente. O que é "meia-vida"?
5. A respeito de datação arqueológica. Como são feitas as datações de fósseis?

Após este primeiro momento de coleta de conhecimentos prévios dos alunos em um segundo momento da aula seguiu-se com uma explicação do conteúdo com aproximadamente cerca de 40 minutos de explanação. No final da aula, os últimos 10 minutos foram destinados à leitura do texto, e como tarefa para casa foi proposto mais cinco questões a respeito do conteúdo do texto.

Caso o aluno não consiga realizar a leitura em sala de aula, a atividade ficará prevista para ser realizada em casa. Posteriormente a leitura do texto proposto, quatro outras questões serão aplicadas, baseadas no texto. A atividade deste segundo questionário é prevista para ser realizada como tarefa de casa.

### Texto para Leitura

Título: Como é feito a medição do tempo com o Carbono-14?

“Essa medição é apenas uma das várias formas de datação histórica. O princípio de tudo é checar a proporção no objeto estudado do elemento químico carbono-14, forma instável do carbono, um dos principais componentes dos seres

vivos. Por isso o método só serve para datar coisas orgânicas, como ossos, tecidos, madeira ou papel. O passo inicial é coletar uma amostra desses materiais.

A amostra — que pode ter apenas alguns miligramas — é colocada num aparelho especial, o espectrômetro de massa, que é capaz de “contar” o percentual de átomos de carbono-14 presente nela. Os materiais orgânicos absorvem esse elemento químico ao longo da vida e param de fazê-lo quando morrem. A partir daí o carbono-14 vai sumindo a uma taxa fixa.

Tendo o percentual do elemento químico na amostra e a taxa com que ele some ao longo do tempo, já dá para estimar a idade do objeto. Mas há um limite: como o carbono-14 desaparece relativamente rápido, só dá para usar o método para datações de até 60 mil anos atrás. Além disso, a data obtida ainda precisa passar por mais uma etapa, a “calibragem” dos dados.

É que a presença do carbono-14 na Terra mudou ao longo do tempo por causa de eventos naturais, como radiações cósmicas ou mudanças climáticas. Sabendo desses ciclos, os cientistas corrigem a data, levando em conta se era um período com maior ou menor presença do carbono-14 no planeta. Mesmo assim, a datação ainda tem margem de erro de mais de cem anos.”

Texto autoria de **Reinaldo José Lopes** Atualizado em 4 jul 2018 - Publicado em 18 abr 2011. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-e-feita-a-medicao-de-tempo-com-o-carbono-14/>. Acesso em: 12 de jul de 2022.

### Questionário 02

1. A datação com carbono-14 pode ser utilizada para datar que tipo de materiais?
2. Como funciona o Espectrômetro de massa no processo de datação de uma amostra?
3. Qual limitação para o uso desse método?
4. Qual a margem de erro/precisão da datação com carbono?

Para esta primeira etapa o tempo de realização previsto é de uma aula de aproximadamente 60 minutos. Se estendendo com atividade para ser realizada como tarefa de casa.

## 2.2. ETAPA 02 – APROFUNDANDO CONHECIMENTOS: AULA EXPOSITIVA-DIALOGADA E ATIVIDADE PROPOSTA

A etapa dois é dividida em dois momentos. O primeiro se dedica a aula propriamente dita, sendo uma aula expositiva, com o objetivo de abordar as teorias que explicam que o isótopo radioativo é um átomo que tem excesso de energia nuclear, tornando-o instável. Após as discussões e exposição do assunto feito em sala de aula, o segundo momento consiste na utilização do simulador do Phet Colorado (para construção de átomos estáveis e instáveis), este ajuda na alfabetização científica dos alunos, tornando-os capazes de organizar suas próprias ideias, serem críticos e conscientes das transformações sociais. É proposta uma atividade com o uso do simulador e outra atividade com finalidade de reforçar os conteúdos abordados.

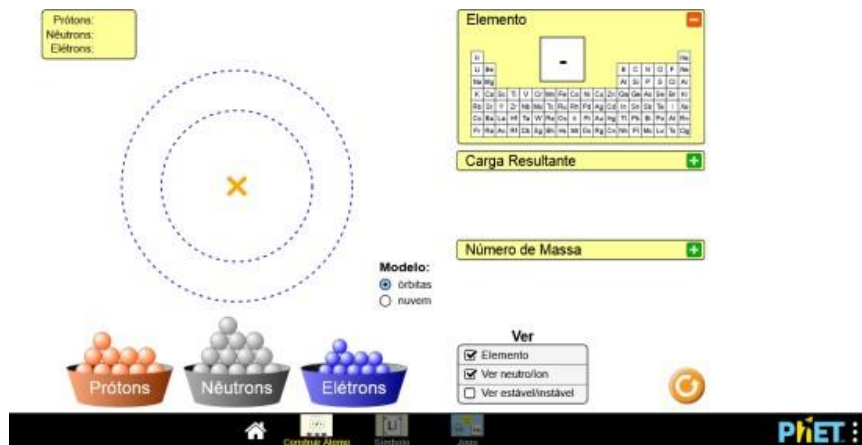
Objetivos da Aprendizagem: Usar o número de prótons, nêutrons e elétrons para desenhar um modelo do átomo. Identificar o elemento. Prever como a adição ou a subtração de um próton, nêutron, ou elétron mudarão o elemento. Usar o nome do elemento para determinar se é estável ou instável.

### Atividade proposta com simulador

Para esta atividade é necessário a utilização de computadores para manuseio da ferramenta que será utilizada na atividade. O simulador Phet Colorado é disponível para aplicação em aulas com fins pedagógicos.

Link de acesso ao simulador: [https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom_pt_BR.html).

A atividade prevista com o simulador requer que o aluno realize a montagem de um átomo como pode ser visto na Figura 2.

**Figura 16 - Simulador Monte um Átomo**

Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

Para essa atividade com uso do simulador, o aluno deverá criar um símbolo isotópico para um átomo estável / instável, determinando os números de prótons, nêutrons e elétrons.

Serão 6 elementos, incluindo Carbono-14, sendo 3 estáveis e 3 instáveis. Conforme a atividade for executada a tabela abaixo deve ser preenchida.

**Tabela 1 - Montagem de átomos no simulador**

	Elemento/Símbolo	Quantidade Prótons	Quantidade Nêutrons	Quantidade Elétrons	Isótopo Estável/Instável
1					
2					
3					
4					
5					
6					

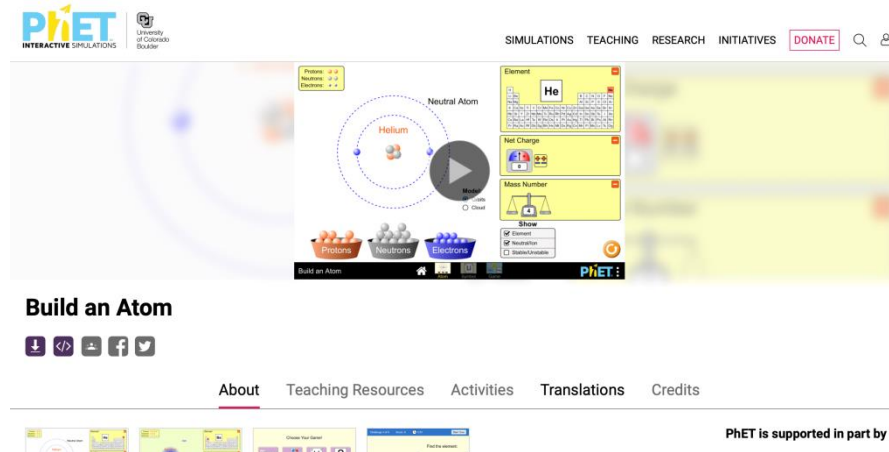
Para a execução da etapa 02 são previstas uma aula de 50 minutos, sendo 30 minutos para explanação do conteúdo de forma expositiva-dialogada, e os outros 20 minutos para atividade de simulação. E os alunos trabalham em grupos para realizar a simulação.



Objetivo da aprendizagem: compreensão por parte dos alunos, com ajuda do simulador, quando um átomo é estável ou instável, que conforme eles inserem quantidades de prótons, nêutrons e elétrons formam elementos químicos estáveis ou instáveis.

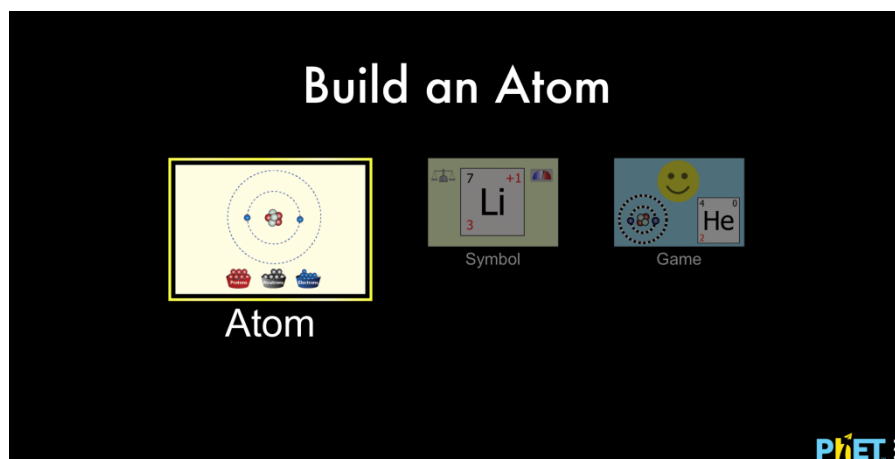
Uso do simulador: após acessar o link que está direcionado ao simulador desejado, ou buscar no site do Phet Colorado o simulador “Construindo um átomo”, você se deparará com a imagem da figura 3 abaixo. Clicando na imagem, a página segue para a imagem que pode ser vista na figura 4, na qual deve ser escolhido a opção de “átomo”. Após o clique você é direcionado para a página de execução do simulador, que pode ser observada na figura 5.

**Figura 17 - Construindo um átomo: clicar na imagem central**



Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

**Figura 18 - Construindo um átomo: clicar em Atom**



Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

Figura 19 - Simulador Construindo um átomo

Protons:  
Neutrons:  
Electrons:

Element

H	He																
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne										
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar										
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Tl	Og

Net Charge

Mass Number

Model:  
 Orbits  
 Cloud

Protons  
Neutrons  
Electrons

Show  
 Element  
 Neutral/ion  
 Stable/Unstable

Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

Figura 20 - Indicação se a molécula está neutra ou íon

Protons: ●●●  
Neutrons: ●●●  
Electrons: ●●●

Neutral Atom

Lithium

Element

H	He																
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne										
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar										
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Tl	Og

Net Charge

Mass Number

Model:  
 Orbits  
 Cloud

Protons  
Neutrons  
Electrons

Show  
 Element  
 Neutral/ion  
 Stable/Unstable

Protons: ●●●  
Neutrons: ●●●  
Electrons: ●●●

+ Ion

Beryllium

Element

H	He																
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne										
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar										
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Tl	Og

Net Charge

Mass Number

Model:  
 Orbits  
 Cloud

Protons  
Neutrons  
Electrons

Show  
 Element  
 Neutral/ion  
 Stable/Unstable

Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

Para realizar a atividade proposta basta acrescentar no átomo as partículas para que você chegue ao elemento proposto, carregando das vasilhas identificadas, as partículas desejadas. Conforme as partículas são acrescentadas no átomo, o elemento a que se refere vai sendo indicado no quadrado que está na tabela periódica no canto superior direito. O simulador vai indicando se o elemento é um íon ou se está estável (neutro) - figura 6 acima.

### 2.3. ETAPA 03 – APROFUNDANDO CONHECIMENTOS: AULA EXPOSITIVA-DIALOGADA E ATIVIDADES PROPOSTAS

A etapa três é composta pela continuidade da aula expositiva-dialogada, agora explorando os conteúdos que envolvem os isótopos, radioatividade, partícula alfa ou radiação alfa, partícula beta ou radiação beta, radiação gama, penetração das radiações na matéria, radiação e reações de decaimento. Serão apresentadas aulas expositivas e dialogadas. Os simuladores serão utilizados novamente, mas agora com a abordagem de decaimento alfa e beta, para visualizar alguns fenômenos físicos, seguido de atividade com o uso do próprio simulador. Aqui os discentes podem manusear o simulador e fazer as manipulações necessárias que facilita o conhecimento científico.

Os alunos continuam trabalhando em grupos, e também de forma individual, realizando as atividades propostas e, utilizando o caderno sempre que necessário fazer anotações e, o professor fica disponível para sanar dúvidas sempre que solicitado pelo aluno.

A aula é dividida em 30 minutos atribuídos para explanação dos conteúdos e 20 minutos para a atividade de simulação.

Objetivos da aprendizagem: Explicar o que ocorre na radiação alfa. Analisar o que acontece a um elemento que sofre decaimento alfa. Explicar o conceito de meia-vida, incluindo a natureza aleatória do mesmo.

#### Atividade com simulador

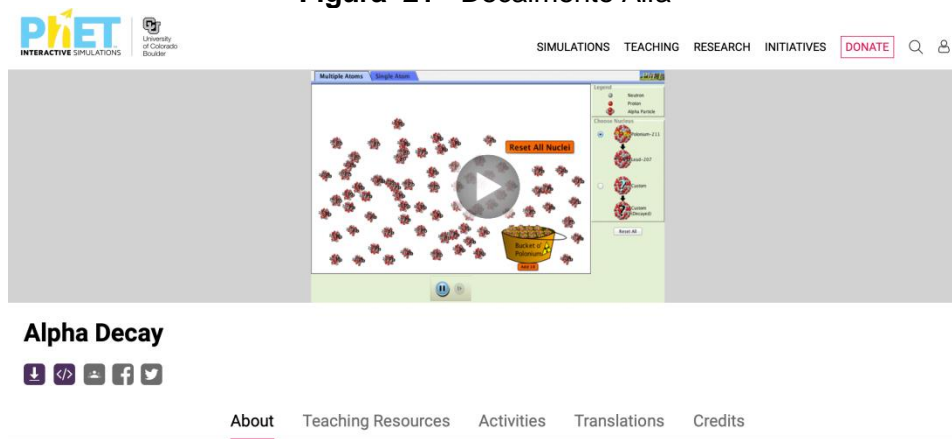
1) Atividade proposta com simulador de decaimento Alfa, link de acesso: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/alpha-decay](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/alpha-decay)

Para essa atividade com uso do simulador, o aluno deverá observar ao longo do processo as partículas sobreviventes nos tempos determinados e preencher a tabela abaixo com as partículas sobreviventes em cada tempo.

A atividade utiliza os átomos de polônio-211 que vão se desintegrar partículas alfas para o chumbo-207, como pode ser visto o exemplo na figura 8.

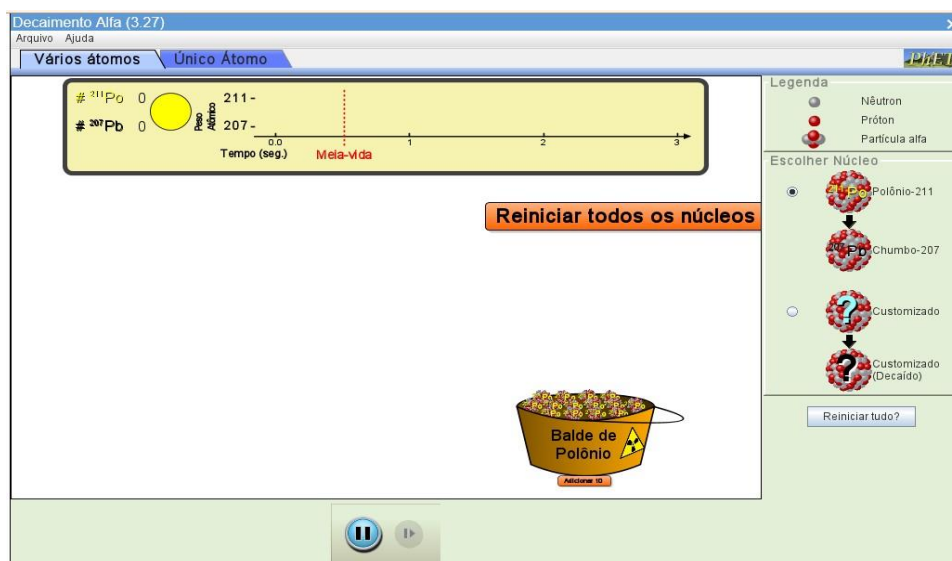
Entrando no simulador de decaimento alfa, você encontra a imagem como da figura 7, ao clicar nela você é direcionado para o simulador para iniciar a atividade como pode ser observado na figura 8, existe uma tela, um balde com átomos de polônio com o qual serão trabalhados e, o simulador vai indicando o decaimento, a meia-vida, etc.

Figura 21 - Decaimento Alfa



Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

Figura 22 - Simulador com o decaimento Alfa



Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

O aluno deve adicionar todas as partículas que se encontram no balde, clicando no botão logo abaixo do balde, clicando no botão as partículas são acrescentadas na tela e, no canto superior esquerdo irá aparecer o total de partículas, no botão de pausa que se encontra centralizado abaixo da tela, o aluno pode pausar as emissões e acompanhar quantas restam. E é isso que ele deve fazer, pausas nos tempos definidos na tabela abaixo e, verificar quantas moléculas ainda existe do polônio sem decaimento.

Como dito acima, conforme a simulação do átomo for realizada a tabela 2 abaixo precisa ser preenchida com os valores de partículas sobreviventes do Polônio.

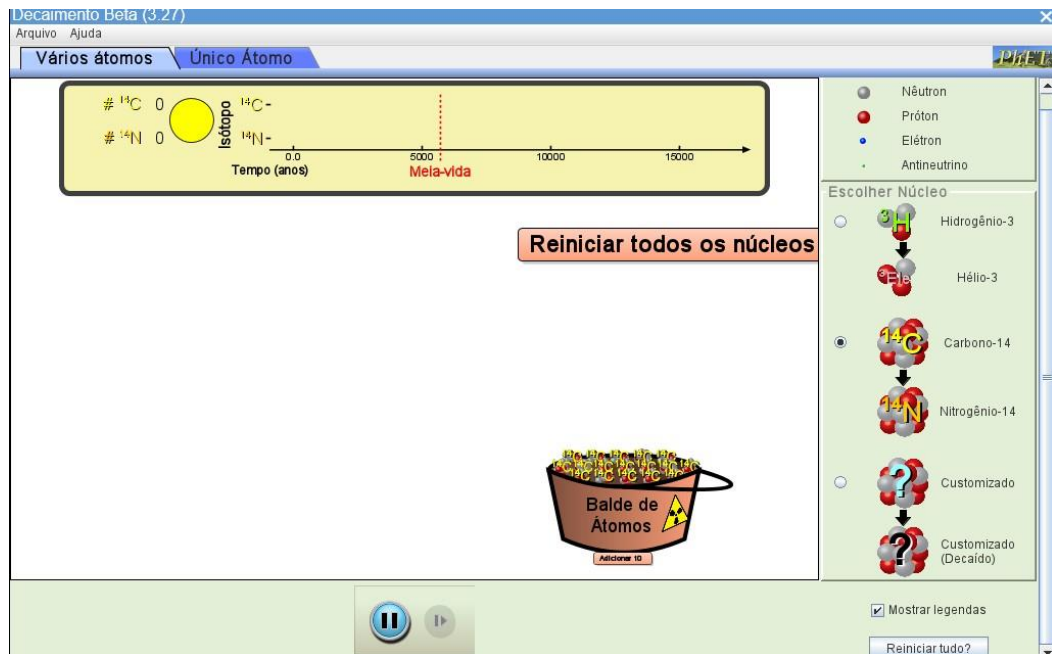
**Tabela 2 - Decaimento Alfa**

Tempo	Partículas Sobreviventes do Polônio
0,0	
0,5	
1,0	
1,5	
2,0	
2,5	

2) Atividade proposta com simulador de decaimento Beta, link de acesso: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/beta-decay](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/beta-decay)

A proposta aqui é semelhante a anterior, porém agora se observa o decaimento do tipo Beta, o processo de execução é o mesmo anterior.

**Figura 23 - Simulador com decaimento Beta**



Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

O procedimento aplicado é o mesmo anterior, colocando todos os átomos do balde na tela, parando os decaimentos (beta), e anotando os valores. Durante a atividade, os valores decorrentes do decaimento Beta precisam ser anotados na tabela 3 abaixo.

**Tabela 3 - Decaimento Beta**

Quantidade de átomos de C14	Tempo de meia vida	Estimativa de átomos decaídos	Quantidade de átomos decaídos
10 átomos	5.730		
20 átomos	10.000		
50 átomos	15.000		

Objetivos da aprendizagem: Entender o processo de decaimento beta.

#### 2.4. ETAPA 04 – APROFUNDANDO CONHECIMENTOS: AULA EXPOSITIVA-DIALOGADA E ATIVIDADE PROPOSTA

Dando continuidade com as aulas expositivas-dialogadas o professor apresentará os seguintes tópicos datação em arqueologia e suas relações com a física com os conteúdos de meia-vida e datação por carbono-14. Novamente os alunos farão atividade proposta sob orientação do professor. A aula expositiva conta

com ativa interação dos alunos, visando conhecer mais a datação em arqueologia e suas relações com a física. Possui o intuito de mostrar que a radioatividade tem grande importância na vida do ser humano, desde diagnósticos a reconstrução do passado da humanidade. No decorrer da apresentação do conteúdo, é realizado um debate confrontando os conhecimentos dos alunos com os conhecimentos científicos, buscando alfabetizá-los cientificamente. Utilizar-se-á novamente simuladores para um jogo da datação radioativa.

A atividade envolve o uso da radiação no cálculo da datação de fósseis. Também são relacionadas atividades complementares que envolvem o uso da radiação, para esse momento de atividade a duração é de 40 minutos.

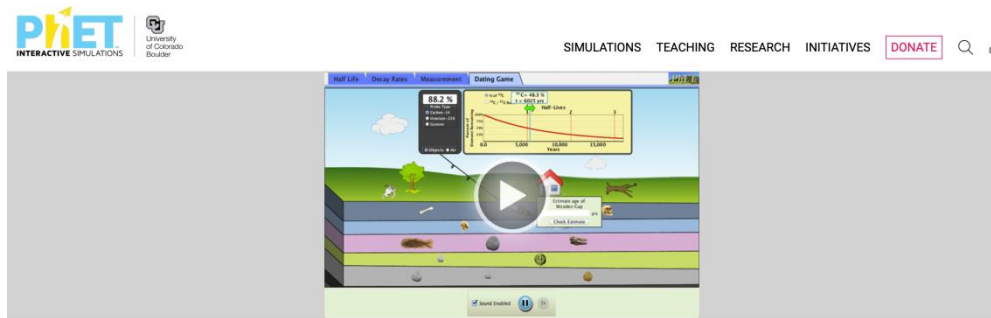
Objetivos da aprendizagem: Explicar o conceito de meia-vida, incluindo a natureza aleatória da mesma, em termos de partículas individuais e amostras maiores. Descrever os processos de decaimento, incluindo como elementos mudam e emitem energia e/ou partículas. Explicar como a datação radiométrica funciona e como o elemento Carbono-14 é usado para datar objetos diferentes. Identificar que meia-vida é o tempo para  $1/2$  de uma substância radioativa se decompor.

#### Atividade com simulador

Atividade proposta com simulador phet (jogo da datação radioativa). Link de acesso ao simulador: <https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/radioactive-dating-game>.

Acessando o simulador do jogo você chega à página como na figura 10, basta clicar nele para você ser direcionado a página do jogo (figura 11).

Figura 24 - Datação Radioativa



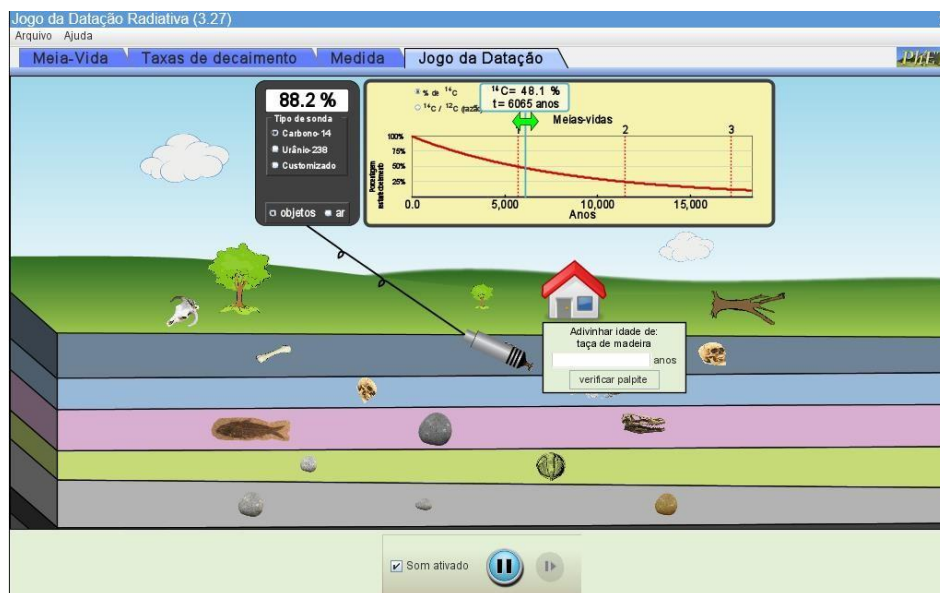
### Radioactive Dating Game



About Teaching Resources Activities Translations Credits

Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

Figura 25 - Jogo da Datação Radioativa



Fonte: <https://phet.colorado.edu/>

O simulador é interativo, conforme o pêndulo (medidor de atividade radioativa) existente é aproximado de algum dos objetos, a medida de carbono-14 aparece no quadro cinza indicando o percentual, e no quadro amarelo representando o gráfico, o eixo vertical é o percentual de atividade e o eixo horizontal se refere ao tempo. Neste gráfico você trabalha com o valor dado de cada objeto o mais próximo possível, e, na caixinha que se abre próximo ao medidor você insere o valor encontrado no gráfico. Caso a resposta esteja errada, o simulador indica que a resposta não é correta. Outra



possibilidade é, ao invés de se trabalhar com os valores do gráfico é colocar na caixa que se abre para resposta um valor aproximado ou que se tenha calculado.

Conforme o aluno vai efetuando o jogo, a tabela 4 abaixo deve ser preenchida de acordo com os dados de datação radioativa, obtidos e verificados com o simulador.

**Tabela 4 - Datação Radioativa**

Objeto	Porcentagem C14	Estimativa (anos)	Tempo Correto

A etapa quatro consiste em uma aula de 50 minutos sendo 40 minutos para uso do simulador e 10 minutos para que os alunos respondam o pós-teste.

## 2.5. ETAPA 05 – AVALIAÇÃO DA UEPS EM SALA DE AULA

Apesar de estar contando como uma etapa, essa parte é integrante da aula anterior, da qual é disponibilizado 10 minutos para aplicação da avaliação. A avaliação como um todo é realizada individualmente durante todo o processo da aplicação do produto, a participação em sala de aula, interação com os colegas de classe (sem grupo) fazendo com que o conhecimento adquirido possa ser também socializado, com comentários gerais a respeito dos tópicos abordados. No final dessa sequência, é aplicado o pós-teste, esse ajudará a verificar o quanto do assunto os alunos puderam internalizar.

Este momento é importante, pois, é a partir deste ponto que será possível verificar se a SD apresentada aos alunos teve efeito potencialmente significativo, reestruturando conceitos prévios antes existentes, de acordo com a aprendizagem significativa de David Ausubel (MOREIRA, 2010).

### Avaliação do pós-teste

1) Por que o número de massa não muda após um decaimento gama?

2) Uma das aplicações nobres da energia nuclear é a síntese de radioisótopos que são aplicados na medicina, no diagnóstico e tratamento de doenças. O Brasil é um país que se destaca na pesquisa e fabricação de radioisótopos. O fósforo-32 é utilizado na medicina nuclear para tratamento de problemas vasculares. No decaimento deste radioisótopo, é formado enxofre-32, ocorrendo emissão de:

- a) Partículas Alfa
- b) Partículas Beta
- c) Raios gama
- d) Nêutrons
- e) Raios X

3) O que é uma partícula beta?

4) O núcleo atômico de alguns elementos é bastante instável e sofre processos radioativos para remover sua instabilidade. Sobre os três tipos de radiação  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ , podemos afirmar que:

- a) Ao emitir radiação  $\alpha$ , um núcleo tem seu número de massa aumentado.
- b) Ao emitir radiação  $\beta$ , um núcleo tem seu número de massa inalterado.
- c) A radiação  $\alpha$  é constituída por núcleos de átomos de hélio.
- d) Ao emitir radiação  $\gamma$ , um núcleo não sofre alteração em sua massa.
- e) Ao emitir radiação  $\beta$ , um núcleo tem seu número atômico aumentado em uma unidade.

5) A técnica do carbono-14 permite a datação de fósseis pela medição dos valores de emissão beta desse isótopo presente no fóssil. Para um ser em vida, o máximo são 15 emissões beta/ (min g). Após a morte, a quantidade de  $^{14}\text{C}$  se reduz a metade a cada 5730 anos. Considere que um fragmento fóssil de massa igual a 30 g

foi encontrado em um sítio arqueológico, e a medição de radiação apresentou 6750 emissões betas por hora. A idade desse fóssil, em anos, é (apresentar o cálculo)<sup>2</sup>.

- a) 450
- b) 1433
- c) 11460
- d) 17190
- e) 27000

---

<sup>2</sup> <https://www.resumov.com.br/provas/enem-2017/q126-a-tecnica-do-carbono-14-permite-a-datacao-de-fosseis/>

### 3. CRONOGRAMA

Na tabela abaixo se encontra o cronograma das atividades planejadas para a aplicação do produto, os recursos utilizados e a distribuição de conteúdo das aulas, que visam facilitação no processo ensino-aprendizagem. Constitui-se em um total de 4 aulas como pode ser verificado abaixo.

**Tabela 5** - Cronograma de planejamento da sequência didática

COLÉGIO "PETIGRAM <sup>3</sup> "				
Professora: Maria Madalena Da Silva				
Aula	Data	Conteúdo	Atividade	Recursos
01		Radioatividade, Isótopo Radioativo, Datação do C-14	Pré-teste + Introdução ao conteúdo + Atividade de leitura	Datashow
02		Átomos, Simulador Phet Colorado, Radiação das partículas ( $\alpha, \beta, \gamma$ ), meia vida	Aula expositiva – dialogada com interatividade dos alunos – uso de simulador	Datashow, Laboratório de informática
03		Datação Carbono-14, Radiação das partículas ( $\alpha, \beta, \gamma$ ), meia vida	Aula expositiva – dialogada com interatividade dos alunos - uso de simulador	Datashow, Laboratório de informática
04		Meia-vida, Decaimento, datação radiométrica	Aula expositiva – dialogada com interatividade dos alunos – uso do simulador – pós-teste	Datashow, Laboratório de informática

<sup>3</sup> Nome fictício.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, D.P. *A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982. Acesso 05 de junho 2022

BRASIL. *Base Nacional Curricular Comum (BNCC): Educação é a Base*. Brasília, DF: MEC/CONSED/UNDIME, 2017.

MOREIRA, M. A. *O que é afinal aprendizagem significativa?* Instituto de Física – UFRGS. 2010.

PARANÁ. *Diretrizes Curriculares da Educação Básica: Física*. Ministério da Educação. 2008.

PhET – *Physics Education Technology*. Disponível em: <http://phet.colorado.edu/>.