

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

FELIPE DE JESUS BALESTEIRO

**EXAME NACIONAL DO ENSINO MÉDIO (ENEM) E RADIOATIVIDADE: ANÁLISE
DAS QUESTÕES DE QUÍMICA NO PERÍODO DE 2012 A 2022**

CAMPO MOURÃO

2023

FELIPE DE JESUS BALESTEIRO

**EXAME NACIONAL DO ENSINO MÉDIO (ENEM) E RADIOATIVIDADE: ANÁLISE
DAS QUESTÕES DE QUÍMICA NO PERÍODO DE 2012 A 2022**

**National high school exam (ENEM) and radioactivity: analysis of chemistry
questions from 2012 to 2022**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Licenciado em Licenciatura em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Profa. Dra. Paula Cavalcante Monteiro.
Coorientadora: Profa. Dra. Márcia Camilo Figueiredo.

CAMPO MOURÃO

2023



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

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

FELIPE DE JESUS BALESTEIRO

**EXAME NACIONAL DO ENSINO MÉDIO (ENEM) E RADIOATIVIDADE: ANÁLISE
DAS QUESTÕES DE QUÍMICA NO PERÍODO DE 2012 A 2022**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Licenciado em Licenciatura em Química da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 20 de Novembro 2023

Paula Cavalcante Monteiro
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Adriano Lopes Romero
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

João Ricardo Neves da Silva
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CAMPO MOURÃO

2023

Dedico este trabalho principalmente a Deus e aos meus pais, Claudete e Wanderley, uma vez que elas sempre foram as pessoas que mais me incentivaram e acreditaram no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Primeiramente, agradeço a Deus por sempre estar comigo nessa jornada e não me deixar desistir em todos os momentos nos quais não queria continuar.

Agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Paula Cavalcante, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória, pela paciência, por toda ajuda que se fez importante para que realizasse esse trabalho.

Agradeço à minha Co-orientadora Profa. Dra. Márcia Camilo Figueiredo, por toda atenção, apoio e aprendizado que me proporcionou, que me fez virar a chave.

Agradeço ao meu pai, Wanderley Balesteiro, por todo apoio e incentivo que me deu em toda essa caminhada, sem a sua confiança, não estaria aqui.

Agradeço a minha mãe, Claudete Rosa de Jesus Balesteiro, que sempre me orientou e me deu forças.

Agradeço a minha esposa Rita, que sempre me ajudou e apoiou em todos os momentos que passei durante a graduação, me incentivando para que não desistisse.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Eu sou um Universo de átomos, e ainda assim, um átomo no Universo”.
FEYNMAN (1955).

RESUMO

A educação básica no Brasil ao longo de seu percurso histórico vem sendo atualizada com novos programas, projetos e diretrizes asseguradas por leis e documentos normativos que buscam garantir a formação cidadã dos alunos. O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) consiste em uma avaliação que contempla além da redação, as áreas do conhecimento das Ciências da Natureza - Biologia, Física e Química e das Ciências Humanas, Linguagens, Matemática. O indivíduo que realiza o ENEM, geralmente almeja ingressar no ensino superior. Neste contexto, existe conteúdo do componente curricular da Química como o de Radioatividade, que acaba se tornando um dos grandes desafios devido fatores de complexidade, caráter abstrato, considerar somente os seus malefícios a sociedade, comprometendo assim, a formação cidadã. Diante o exposto, indagamos o problema de pesquisa: No período de 2012 a 2022, a temática Radioatividade tem sido contemplada em questões de provas do ENEM no componente curricular - Química? Como tem sido contemplada? Para isso, o objetivo da pesquisa foi analisar se a temática Radioatividade tem sido contemplada no componente curricular – Química em questões de provas do Exame Nacional do Ensino Médio e como tem sido abordada. Na metodologia qualitativa e do tipo exploratória, pesquisamos no site do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP), para coletar questões com o tema radioatividade. Os dados obtidos foram estruturados de acordo com o método de análise de conteúdo de Bardin (2011). Referente aos resultados, identificamos seis questões nos anos 2013, 2014, 2015, 2019, 2020 e 2022 que abordam o conteúdo do componente curricular em Química, as quais compõem os três tipos de categorias: radioisótopo, radioativo e radioativa. Verificamos, a partir da nossa análise de dados e das porcentagens referentes às palavras chaves pesquisadas, que são poucas as relações entre as propostas de Ensino de Química e os eixos cognitivos do novo ENEM. Portanto, a estruturação do ENEM precisa ser modificada, com base no que é cobrado na matriz e oportunizar uma maior visão sobre os conteúdos pouco cobrados. Asseguramos que as perguntas abordadas refletem uma visão de que a radioatividade é algo ruim, e cabe aos professores ilustrarem as grandes tecnologias na área de radiação oportunizando exames, diagnósticos e tratamentos na área da medicina. Por fim, concluímos que é de extrema necessidade a reformulação e desmistificação dos conteúdos sobre radioatividade a que se diz respeito o conteúdo de Química, não apenas de grande maioria do componente curricular da disciplina de física.

Palavras-chave: radioatividade; ensino de química; formação cidadã; enem.

ABSTRACT

Basic education in Brazil throughout its historical history has been updated with new programs, projects and guidelines ensured by laws and normative documents that seek to guarantee the citizenship formation of students. The National High School Examination (ENEM) is an example of this advancement, and consists of an assessment that covers the areas of knowledge (Natural Sciences - Biology, Physics and Chemistry, Human Sciences, Languages and Mathematics, writing) carried out by students who are finishing high school and wish to pursue higher education. Among the contents of the Chemistry curricular component, the topic of radioactivity is one of the greatest challenges for educators, as it presents a harmful conception for society and is abstract and complex according to students, which can compromise their citizen training. Faced with this problem, we took the following question as a basis: In the period from 2012 to 2022, has the theme of Radioactivity been included in ENEM exam questions in the curricular component - Chemistry? If so, how has it been addressed? Thus, the objective of this research was to carry out a survey of ENEM tests from 2012 to 2022 and analyze how questions on the topic of radioactivity are addressed in the Chemistry curricular component. We carried out qualitative exploratory research on the website of the National Institute of Educational Studies and Research Anísio Teixeira (INEP) and after collecting and organizing questions related to the topic of radioactivity, we processed the data according to the content analysis method. Regarding the results, we identified six questions in the years 2013, 2014, 2015, 2019, 2020 and 2022 that address content from the Chemistry curricular component, which make up the three types of categories: radioisotope, radioactive and radioactive. We verified from our data analysis and the percentages referring to the keywords researched that there are few relationships between chemistry teaching proposals and the cognitive axes of the new ENEM. Therefore, the structuring of ENEM needs to be modified, based on what is charged in the matrix and provide greater insight into content that is undercharged. We ensure that the questions addressed reflect a view that radioactivity is something bad, and it is up to teachers to illustrate the great technologies in the area of radiation, providing opportunities for exams, diagnoses, and treatments in the area of medicine. Finally, we conclude that it is extremely necessary to reformulate and demystify the content on radioactivity to which the chemistry content relates, not just the vast majority of the curricular component of the physics subject.

Keywords: radioactivity; chemistry teaching; citizenship training; enem.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Espectro eletromagnético	23
Figura 2 - Processo de emissão de uma partícula alfa	25
Figura 3 - Processo de emissão de uma partícula alfa	26
Figura 4 - Poder de penetração das radiações α , β e γ	27
Figura 5 - Equação Decaimento Radioativo.....	27
Figura 6 - Representação do decaimento radioativo por tempo de meia-vida ..	28
Figura 7 - Radiação emitida e tempos de meia-vida de diferentes átomos radioativos	29
Figura 8 - Exemplo de fissão do Urânio	31
Figura 9 - Equação de Einstein	31
Figura 10 - Exemplo fusão nuclear	32
Figura 11 - Poder energético de materiais	34
Figura 12 - Provas e gabaritos do ENEM.....	40
Figura 13 - Provas e Gabaritos - ano de 2022	40
Figura 14 - Capa da prova do ENEM - 2022.....	41
Figura 15 - Exemplo de busca das palavras chaves utilizando o atalho.....	42
Figura 16 - Questão 109 do Caderno Azul ENEM 2022	49
Figura 17 - Resolução do cálculo de decaimento radioativo referente a questão 109	50
Figura 18 - Questão 126 do Caderno Azul ENEM 2020	51
Figura 19 - Questão 123 do Caderno Azul ENEM 2019	53
Figura 20 - Questão 73 do Caderno Azul ENEM 2015	55
Figura 21 - Questão 166 do Caderno Azul ENEM 2013	56
Figura 22 – Resolução da questão 166.....	57
Figura 23 - Questão 66 do Caderno Azul ENEM 2014	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1	Breve histórico do Ensino de Ciências no Brasil	14
3.2	Ensino de química no Brasil.....	16
3.3	ENEM, Ensino de Química, cotidiano, contextualização	17
3.4	Breve histórico da Radioatividade.....	21
3.5	Radioatividade Natural e Artificial	23
3.6	Radioatividade α , β e γ e Decaimento radioativo	25
3.7	Fissão Nuclear	29
3.8	Fusão Nuclear.....	31
3.9	Aplicações da radiação e radioatividade	33
3.10	Contaminação e lixo radioativo.....	36
3.11	trabalhos de Ensino na área de radioatividade	37
4	METODOLOGIA	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A educação básica no Brasil aos poucos tem avançado e conseguido garantias e direitos por meio de respaldos em leis, documentos normativos e outros que estão consoantes ao Plano Nacional de Educação - PNE. Dentre as várias finalidades contidas na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - LDBEN, verificamos que é preciso garantir ao educando uma formação cidadã que o habilite a tomar decisões responsáveis no dia a dia, que consiga progredir no mercado de trabalho e dar continuidade em seus estudos (Brasil, 1996).

Depois de mais de duas décadas, verificamos avanços ao ler a Base Nacional Comum Curricular - BNCC que, pautada na LDBEN e fundamentada nas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica, estabelecem que a educação básica precisa formar o cidadão com princípios éticos, políticos e estéticos, garantindo-lhe assim, uma formação humana integral para construir uma sociedade justa, democrática e inclusiva (Brasil, 2013).

Além dessas finalidades, há outros princípios e objetivos para a etapa final do processo formativo da Educação Básica - Ensino Médio. Como exemplo, podemos citar o objetivo de garantir que o educando possa consolidar e aprofundar os conhecimentos que adquiriu no Ensino Fundamental para prosseguir seus estudos, desenvolver a autonomia intelectual e o pensamento crítico, além de compreender os fundamentos científicos e tecnológicos presentes na sociedade contemporânea (Brasil, 2013).

Em relação aos estudos posteriores, sabemos que os educandos que finalizam o Ensino Médio e querem ingressar em um curso superior, tem várias maneiras de conseguir uma vaga, seja prestar vestibular em universidades ou participar do Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM que visa avaliar o desempenho escolar dos estudantes ao término da educação básica, entre outros.

Como podemos perceber, o ENEM, sendo uma avaliação dos educandos quando terminam o ensino médio, requer que os mesmos tenham aprendido vários conhecimentos (Ciências da Natureza - Biologia, Física e Química, Ciências Humanas, Linguagens e Matemática, redação), para terem uma boa nota e, assim, garantir a vaga na universidade.

Nesse contexto, voltamos o olhar para o componente curricular de Química, uma vez que os seus conteúdos são declarados por muitos alunos como sendo de

difícil compreensão, que não conseguem entender e resolver as fórmulas, cálculos, além do caráter abstrato da disciplina, que colabora para agravar esses fatores. Na literatura científica, podemos encontrar várias pesquisas que corroboram com esse fato; Figueiredo e Souza (2021), por exemplo, aplicaram um jogo digital para investigar o conceito de aleatoriedade presente na teoria cinética dos gases.

Outro assunto que os alunos têm dificuldades em aprender são os relacionados à radioatividade, como reportado por Leite *et al.* (2019), ao elaborarem o jogo didático “Radiogan”, para colaborar com o ensino e aprendizagem dos principais aspectos do conteúdo de radioatividade.

Somado a esse contexto, na literatura encontramos ainda concepções de que a radioatividade só traz malefícios, o que pode comprometer a formação do cidadão, haja vista que esse assunto tem beneficiado a população em vários sentidos, sendo a principal beneficiada a área da Saúde com a radioterapia, um tratamento que utiliza a radiação ionizante que danifica o DNA (ácido desoxirribonucleico) das células, destruindo o tumor ou impedindo a multiplicação das células.

Conforme Araújo *et al.* (2018, p. 162), “esse esclarecimento pode ser iniciado nas aulas de Química, realizando atividades que propiciem conhecimento e aprendizagem sobre o tema que faz parte do conteúdo programático dessa disciplina”. No trabalho de Merçon e Quadrat (2004), constatamos informações que colaboram para entender, por exemplo, como a utilização da energia das reações nucleares a partir da segunda metade do século XX foram debatidas e, assim, avançar em compreensões dos benefícios e malefícios da radioatividade em outras áreas.

Assim, justificamos e selecionamos os conhecimentos da Radioatividade para essa pesquisa, pois são conteúdos necessários à formação cidadã do aluno do ensino médio. Isso porque saber e entender como esse assunto está presente no cotidiano (exemplos: diagnóstico e tratamento de doenças, geração de energia, impedir o crescimento de agentes produtores e da deterioração nos alimentos, impactos ao meio ambiente, entre outros) oportuniza tomar decisões que possam ocorrer no dia a dia (Zapateiro, 2017).

A pesquisa acerca da temática Radioatividade foi continuada por Zapateiro e Figueiredo (2020) que trabalharam com a formação inicial de professores em Química. Os seus resultados culminaram em vários produtos educacionais que oportunizam o indivíduo a compreender como o assunto foi sendo construído durante o contexto histórico da Ciência: o que é radiação, os tipos de lixos radioativos que existem e os

seus impactos ao meio ambiente e ao ser humano, entre outros que colaboram com a formação cidadã. Por exemplo, no livro Paradidático de Zapateiro; Rocha e Figueiredo (2022), o assunto pode ser mais conhecido por seus inúmeros benefícios à humanidade, principalmente no desenvolvimento da medicina nuclear.

Diante do exposto e levando em consideração a nossa vivência no campo escolar, presenciamos que o tema radioatividade não tem sido abordado e, quando trabalhado, a ênfase tem sido nos malefícios associados ao seu uso, como acidentes e bombas nucleares. Isso reforça concepções de que não existem benefícios e aplicabilidade para a sociedade, não formando integralmente educandos que sejam aptos a tomarem decisões quando envolvem conhecimentos científicos dessa temática. Pensando nisso, na formação cidadão do sujeito e em educandos que são submetidos ao ENEM, elaboramos o seguinte problema de pesquisa em forma de pergunta: no período de 2012 a 2022, a temática Radioatividade tem sido contemplada em questões de provas do ENEM no componente curricular - Química? Se sim, como tem sido contemplada?

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Analisar se a temática Radioatividade tem sido contemplada no componente curricular – Química em questões de provas do Exame Nacional do Ensino Médio e como tem sido abordada.

2.2 Objetivos específicos

- Fazer um levantamento de provas do ENEM no período de 2012 a 2022.
- Selecionar, nas provas do ENEM, questões que contemplam a temática radioatividade no componente curricular - Química.
- Analisar como as questões que contemplam o tema radioatividade são abordadas no componente curricular - Química.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Breve histórico do Ensino de Ciências no Brasil

Os estudos relacionados às línguas, literatura e matemática foram se desenvolvendo durante o século XIX, porém, devido à época, diversos autores dividem opiniões ao tratar do ensino de ciências. Muitos demonstravam interesse na causa, já outros buscavam a realização de problemas e recrutamento de cientistas, fortificando a ideia sobre o ensino de Ciências pautado em deduções e equações já conhecidas (Ribeiro, 2020).

A partir do século XIX, o ensino de Ciências foi inserido no currículo das escolas secundárias e passou a ser disciplinas científicas, o que gerou maior privilégio nas escolas. Por sua vez, no século XX, ao ser vinculado à alta do positivismo em toda a Europa e no Brasil, o ensino de Ciências foi sendo mais conhecido, conquistando mais espaço (Goodson, 1999; Siqueira, 2013;).

No ano de 1950, com o desenvolvimento do país, impulsionado pelo avanço científico e tecnológico, o ensino de Ciências foi sendo alterado com a inserção de temas de contextos sociais e ambientais, acarretando algumas melhorias no ensino no final da década de 1970, momento em que foram os fundamentos da tendência pedagógica tradicional no sistema educacional do ensino de Ciências (Pontes *et al.*, 2008; Nascimento *et al.*, 2010).

Ainda na década de 1970, o sistema educacional brasileiro enfrentou fortes reestruturações nos aspectos teóricos e metodológicos, no intuito de superar a pedagogia tradicional, a qual “[...] está no Brasil desde os jesuítas e busca a universalização do conhecimento, a repetição, o treino intensivo e a memorização como estratégia utilizada pelo professor para transmitir o acervo de informações aos alunos” (Silva, 2018, p. 97). Portanto, uma proposta de educação centrada no professor que vigia, aconselha, corrige e trabalha os conteúdos por meio de aulas expositivas e normas rígidas, tem os alunos como um agente passivo que aceita os conhecimentos como verdade absoluta.

Teixeira (2018, p. 96) deixa explícito que a educação tradicional “esvazia os alunos de subjetividade, reflexão e criticidade. O processo de aprendizagem é meramente reduzido à absorção e repetição do conhecimento, há uma substituição da criatividade pela mimetização”. Diante desse contexto, ocorreram fortes evasões

nos centros acadêmicos por se tratar de uma metodologia de ensino da qual não tinha eficiência, secando o financeiro da educação pública (Konder, 1998).

Assim, enquanto o ensino de ciências ao se desenvolvia em paralelo à tecnologia, transformações também ocorriam na sociedade, que sofria os impactos devido às rápidas mudanças. Essas mutações aconteciam, principalmente, na área de ensino porque não acompanhava e ficava defasado; a partir desse momento foram constituídos os campos do estudo científico, divididos entre a física, química e biologia, dos quais hoje se complementam em diversos aspectos. Em meio a esse contexto, foi sendo implementado, no final dos anos 1960, a pedagogia Tecnicista, propagando “[...] ideias relacionadas à organização racional do trabalho (taylorismo, fordismo), ao enfoque sistêmico e ao controle do comportamento (behaviorismo) que, no campo educacional, configuraram uma orientação pedagógica [...]” (Saviani, 2013, p. 369) que ficou difundida e conhecida e denominada de várias maneiras, como ensino tecnicista, pedagogia tecnicista, ensino técnico. Portanto, “o interesse imediato é o de produzir indivíduos competentes para o mercado de trabalho, transmitindo, eficientemente, informações precisas, objetivas e rápidas” (Libâneo, 1989, p. 290).

As tendências tradicionais e tecnicistas ainda permeiam o ensino de Ciências em muitas escolas no Brasil, uma vez que “[...] baseia-se nas técnicas específicas do sistema capitalista, preparando o aluno para atuar na sociedade trabalhista e competitiva” (Silva, 2018, p. 100). Assim, corroboramos com as ideias da autora quando cita Queiroz e Moita (2007, p. 9, grifos nossos) sobre o papel da escola e do aluno na abordagem tecnicista: “**Papel da Escola:** Produzir indivíduos competentes para o mercado de trabalho. **Papel do aluno:** copiar bem, reproduzir o que foi instruído fielmente”. Somado a isso, nos procedimentos metodológicos há demasiado “[...] uso da técnica para atingir objetivos instrucionais, aprender - fazendo, **cópia, repetição, treino**. Conteúdos: baseados nos **princípios científicos**, manuais e módulos de auto-instrução. **Vistos como verdades inquestionáveis**” (Queiroz; Moita, 2007, p. 9, grifos nossos). Nesse modo de conceber o ensino, muitos alunos são induzidos a terem dificuldades em aprender porque

[...] na maioria das vezes, não conseguem perceber o significado ou a importância do que estudam. Os conteúdos são trabalhados de forma descontextualizada, tornando-se distantes da realidade e difíceis de compreender, não despertando o interesse e a motivação dos alunos (Pontes *et al.*, 2008, p. 1).

Os educandos precisam compreender que a Química está presente a sua volta em situações do cotidiano e que, portanto, os seus saberes propiciam o exercício do raciocínio, a relacioná-la no dia a dia, a sermos cidadãos mais críticos e possuidores do conhecimento científico, nos auxiliando nas tomadas de decisões em sociedade (Lima, 2012).

O ensino de Ciências, como a Química, no contexto brasileiro é de grande importância para a compreensão do meio em que vivemos, dos processos à nossa volta, dos possíveis interesses sociais, políticos e econômicos que possam estar envolvidos durante o seu desenvolvimento, para que possamos atender os objetivos da educação brasileira e alcançar de modo efetivo uma formação cidadã.

3.2 Ensino de Química no Brasil

O avanço de estudos da Química proporcionou o desenvolvimento de várias tecnologias em diversos segmentos presentes na nossa sociedade. A título de exemplos, podemos citar a presença nas áreas da saúde, eletrônicos, alimentícios e outros, auxiliando e permitindo que o ser humano modifique as situações divergentes ao seu redor e viva em um ambiente melhor, mais tecnológico e sem causar danos ao meio ambiente (Alves *et al.*, 1999).

Como podemos verificar, as áreas da Química vêm conquistando cada vez mais espaço tanto em indústrias como no desenvolvimento científico e tecnológico. Ao longo da História foi se consolidando e afirmando a sua importância. Atualmente, a Química compõe um dos componentes curriculares da área das Ciências da natureza constituindo a base curricular do Ensino Médio, uma área permeada por muitas dimensões, as quais possibilitam um estudo amplo e rico de conhecimentos para o aluno se formar e tornar um cidadão ativo na sociedade.

Podemos apontar alguns aspectos em relação aos professores que desenvolvem a disciplina de Química. Primeiramente, é notável que existe uma dificuldade por parte dos professores, principalmente no que diz respeito de contextualização sobre os conhecimentos científicos ensinados em sala de aula e as aplicações dele na vida cotidiana. O fato inerente que percebemos é a forma didática antiga presente nas *práxis* dos professores que são fortes traços da educação tradicional, priorizando reprodução de exercícios, cópias, memorização, e abandonando a associação entre a prática e o teórico em conjunto com o cotidiano dos alunos.

Pontes *et al.* (2008) diz que por contraste, as sugestões de cunho mais avançadas apontam para a viabilidade de buscar a geração de saber e a moldagem de um indivíduo perspicaz, capaz de examinar, entender e aplicar essa erudição na vida diária, permanecendo apto a identificar e intervir em cenários que promovem o aprimoramento de sua condição de vida.

Podemos frisar que para aprimorar o ensino de disciplinas científicas é fundamental que o educador compreenda e aborde a realidade como algo inanimado, fragmentado e previsível, ou dissertar sobre assuntos totalmente alheios à vivência dos alunos, desvalorizada a mensagem da maneira como ela deveria ser valorizada (Freire, 2019).

Lima (2012), por sua vez, ao comentar sobre a transmissão desses padrões tradicionais com passar do ano nos ensina que: “Essas situações fazem com que o Ensino de Química no Brasil se constitua num sistema de instrução com propósitos intencionais, práticas sistematizadas e alto grau de organização, caracterizando um ensino tipicamente tradicionalista” (Giesbrechet, 1994, p. 4).

Conforme discutido por Hartwig (1985), é de extrema importância e se faz necessário que os professores tenham a visão sobre o tema, e enxerguem as diversas possibilidades do que se aplicar e desenvolver na sala de aula, até mesmo sem equipamentos como computadores ou outras ferramentas.

Destarte, o professor pode conduzir o ensino de diversas maneiras, fazendo do seu espaço de trabalho, seja na sala de aula, no laboratório ou em outros lugares do ambiente escolar, um lugar favorável, agradável e interessante para o aluno construir o seu próprio aprendizado.

3.3 ENEM, Ensino de Química, cotidiano, contextualização

O ensino de Química em muitas escolas brasileiras ainda está perpassado por características das tendências pedagógicas tradicionais e tecnicistas, as quais não condizem, por exemplo, com o que preconiza a atual Base Nacional Comum Curricular (BNCC), como oportunizar aos alunos meios para desenvolverem competências, habilidades e ser um cidadão atuante na sociedade. Dito isso, indagações estão presentes: como efetivar esses objetivos no componente curricular de Química? E, como atender, por exemplo, um aluno que almeja prestar a prova do ENEM?

O ENEM teve seu início em 1998 com o propósito de avaliar os estudantes do Ensino Médio. Ao longo de uma década, sua função era exclusivamente a de avaliar

habilidades e competências. A partir de 2009, por meio de alterações governamentais, o ENEM passou a ser utilizado não apenas para analisar a qualidade do Ensino Médio, mas também como um meio de acesso ao Ensino Superior no Brasil (Silveira; Barbosa; Silva, 2015).

Na sua primeira edição, o ENEM registrou 157,2 mil inscritos e 115,6 mil participantes. Esse evento foi estabelecido pela portaria nº 438, de maio de 1998, decorrente da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional de 1996, e foi assinada pelo então Ministro da Educação e Desporto, Paulo Renato Souza (Sloniak *et al.*, 2013).

O propósito do ENEM, conforme indicado pelos documentos do INEP e do MEC, era servir como um instrumento de avaliação tanto das competências quanto das habilidades básicas adquiridas no Ensino Médio. Ao longo do tempo, o exame passou por uma reformulação, incorporando critérios de seleção para que os estudantes pudessem ingressar no Ensino Superior por meio do Programa Universidade Para Todos (PROUNI).

Para o desenvolvimento do conteúdo apresentado em sala de aula é imperioso que se estabeleça conexão com o cotidiano do aluno, numa contextualização que propicia que o ensino seja eficaz. Vemos diversas perguntas presentes nas avaliações do ENEM, porém nem tanto quanto ao conteúdo curricular de Química.

Ao se tratar da relação entre o ensino de Química e o cotidiano, existe uma associação que é bastante conhecida nas escolas, a saber quando alguns professores do ensino médio trabalham sobre a aplicação da relação do cotidiano com o ensino acabam por se equivocar ao dizer que o cotidiano (Wartha *et al.*, 2013).

Em relação ao cotidiano, é muito discutido referindo-se ao termo como exemplificações, como acontecimentos do dia a dia, com uma visão científica generalista de aplicação dos conceitos relacionados. Para Monteiro (2018), este método pedagógico de ensinar apenas conteúdos fragmentados, partindo de memorização de fórmulas e regras de nomenclaturas, bem como a ênfase em cálculos matemáticos, não aproxima os alunos dos conteúdos ensinados em relação ao cotidiano. Diante disso, fica evidente que o ensino de química no Ensino Médio está distante da realidade dos alunos; para que ocorra realmente a relação ensino cotidiano o professor deve se tornar o mediador do conhecimento (Monteiro, 2018).

Para Chassot (2001), o cotidiano se transformou em apenas um termo para ensinar conceitos científicos, cujo modismo da utilização se faz de modo errôneo. Ao passo que, a propósito de uma prática pedagógica usando termos relacionados ao dia a dia, para o ensino de conhecimentos científicos, refere-se ao cotidiano em um segundo momento, sendo este apenas como uma exemplificação, que é comumente confundida por muitos professores.

A partir disso, Wartha *et al.*, (2013, p. 85) nos diz que

Adotar o estudo de fenômenos e fatos do cotidiano pode recair numa análise de situações vivenciadas por alunos e professores que, por diversos fatores, não são problematizadas e conseqüentemente não são analisadas numa dimensão mais sistêmica como parte do mundo físico e social.

Para Wartha *et al.* (2013), os exemplos utilizados em meio a uma explicação sobre um conhecimento científico pelos professores vêm de encontro para tentar tornar os conteúdos um pouco mais compreensíveis para os alunos, no intuito que não seja muito maçante e pesada a explicação. É comum essas situações de exemplificação na introdução de conteúdos teóricos, visando conquistar a visão do aluno sobre o tema, aguçando sua curiosidade, para que se desperte o interesse para aprender sobre o conteúdo aplicado.

A utilização do termo cotidiano no ensino de Química deve ser de extrema importância, por isso deve ser usado com cunho de problematização. A definição de cotidiano vem sendo discutida há alguns anos por se tratar de um termo referente à situação do dia a dia, dos quais os conhecimentos científicos fazem parte, ocorrendo fenômenos que podem ser discutidos com os conceitos identificados. “Em relação ao ensino de química, ao se falar em cotidiano, há um tipo de consenso, principalmente entre professores do ensino médio” (Wartha *et al.*, 2013, p. 86). Ou seja, por se tratar de um termo muito conhecido, muitas vezes a forma de abordagem do tema não é criticada, ocorrendo algumas incompatibilidades entre a teoria e prática sobre o tema.

Segundo Wartha *et al.* (2013, p. 86), podemos observar que:

O termo cotidiano há alguns anos vem se caracterizando por ser um recurso com vistas a relacionar situações corriqueiras ligadas ao dia a dia das pessoas com conhecimentos científicos, ou seja, um ensino de conteúdos relacionados a fenômenos que ocorrem na vida diária dos indivíduos com vistas à aprendizagem de conceitos.

Deve-se atentar para que o termo cotidiano não seja visto como algo principal e mediocrizar o ensino. Nessa perspectiva, pode ocorrer de o cotidiano se sobressair chegando a ser um tipo de modismo ao se utilizar quando tratamos de ensino e de

aprendizagem, colocando o científico em segundo plano, como algo apenas para explicar fatos, acontecimentos e situações do dia a dia.

Segundo Wartha *et al.* (2013), a prática pedagógica baseada na utilização de fatos de acontecimentos diários para ensinar conteúdo científico apresenta o cotidiano em um papel secundário, ou seja, este servindo como mera exemplificação ou ilustração para ensinar conhecimentos químicos.

Em relação a contextualização e cotidiano, considera-se que eram palavras distantes para os docentes, ao passo que dar exemplos de situações era a forma de contextualizar o conteúdo com o dia a dia dos alunos. Não havia preocupação com o aluno a ponto de levar o conhecimento científico para a realidade presente dos mesmos, para que dessa forma houvesse um ensino realmente contextualizado com o cotidiano.

De acordo com essa linha de pensamento, a utilização do termo contextualizar, segundo o autor, aproxima-se da definição de cotidiano como uma união entre a realidade diária dos estudantes e o conteúdo científico a ser ensinado.

Contextuar é uma estratégia fundamental para a construção de significações na medida em que incorpora relações tacitamente percebidas. O enraizamento na construção dos significados constitui-se por meio do aproveitamento e da incorporação de relações vivenciadas e valorizadas no contexto em que se originam na trama de relações em que a realidade é tecida, em outras palavras, trata-se de uma contextualização (Wartha *et al.*, 2013, p. 86).

Santos e Mortimer (1999) apresentam reflexões sobre o conhecimento teórico alinhado com o cotidiano. Vejamos:

Neste sentido, entendemos que para alcançar o objetivo de formação para o exercício da cidadania, torna-se essencial discutir as dimensões sociais, ambientais, tecnológicas, políticas, éticas e econômicas do conhecimento científico no ensino médio. Tal enfoque permite o desenvolvimento de conhecimentos que são fundamentais para o cidadão, bem como possibilita ao aluno a participação em atividades em que ele é estimulado a tomar decisões (Santos; Mortimer, 1999, p.1).

O ensino de Química foi ganhando cada vez mais atenção, tornando-se vista em artigos científicos, em apresentações em eventos, transformando-se em um tema bastante falado e discutido, pois a forma de ensino que estava sendo aplicada não estava proporcionando ao aluno um conhecimento de qualidade e sim apenas uma reprodução daquilo que estava escrito nos livros didáticos. Conforme descrito por Machado (2005, p.51), “etimologicamente, contextuar significa enraizar uma referência em um texto, de onde fora extraída, e longe do qual perde parte substancial de seu significado”. Integrar contexto, portanto, revela-se uma tática essencial na

elaboração de interpretação, uma vez que assimila conexões implicitamente interpretadas. O enraizamento na criação de significados é forjado ao absorver e incluir vivenciadas e apreciadas no ambiente onde brotam, nas interligações que dão forma à realidade. Em resumo, isso se configura como um processo contextual. Com frequência, o termo "contexto" é empregado para indicar uma circunstância específica (Wartha *et al.*, 2013).

3.4 Breve histórico da Radioatividade

Foi apenas no final de 1895 que o alemão Wilhelm Röntgen em um estudo sobre a condutividade dos gases, com tubos de raios catódicos em uma tela de platinocianeto de bário observou a tela brilhar. Aquilo deixou-lhe inquieto, haja vista que o fato indicava que algum tipo de raio diferente dos raios catódicos que saíram do tubo. Diante disso, pelo desconhecimento do raio até então, ele foi chamado de raios-X. A partir desse momento diversos estudos acerca do raio começaram a surgir para se saber mais sobre o desconhecido que havia surgido. Por mais que os estudos e experimentos desenvolvidos não tenham sido bem-sucedidos, esse fato levou a Henri Becquerel a entender o que essa radiação penetrante dos compostos eminentes de luminescência como a do urânio, conduzindo o estudo à descoberta da radioatividade (Martins, 1997).

Segundo Patrício *et al.* (2020), a partir desse fato, Antoine-Henri Becquerel descobriu de fato a radioatividade, levando ao início dos estudos que mudaram a humanidade ao se tratar de física nuclear, sendo essa uma das maiores descobertas revolucionárias do planeta.

Inicialmente, conforme descrito por Navarro e Leite (2008), Becquerel acreditou que se tratava do mesmo raio descoberto por Röntgen, mas ao analisar e confrontar com estudos realizados pelo casal Curie, Marie e Pierre, confirmaram a descoberta de novos elementos radioativos, sendo eles, Tório, Polônio e Rádium. O fato de Becquerel comprovar a radioatividade como um fenômeno e propriedade de alguns elementos químicos até então descobertos o laureou com o Nobel de física em 1903 (Patrício *et al.*, 2020).

Segundo Xavier *et al.* (2007, p. 83), rapidamente foram sendo publicados estudos referentes a radioatividade e a radiação dos elementos após a descoberta de Becquerel.

[...] Dessa forma, em 1900, pouco tempo após as descobertas de Becquerel, o físico neozelandês Ernest Rutherford e o físico francês Pierre Curie identificaram, de forma independente e quase simultaneamente, dois tipos distintos de emissões oriundas dos elementos radioativos. Essas radiações foram denominadas de partículas alfa (α) e beta (β). No mesmo ano, o físico francês Paul U. Villard identificou outra espécie de radiação eletromagnética, que também era emitida por esses elementos, que denominou radiação gama (Xavier *et al.*, 2007, p. 83).

Pouco tempo depois, em 1903, Rutherford propôs a existência de uma nova teoria sobre núcleo atômico e constatou posteriormente que a radioatividade acontecia apenas com núcleos instáveis, com suas emissões α (alfa), β (beta) e γ (gama), de determinados elementos químicos. De fato, o estudo ficou conhecido como decaimento radioativo, comprovando-se que os átomos dos elementos iniciais eram transformados em novos elementos (Xavier *et al.*, 2007).

Nas palavras de Okuno (1998, p. 12), “Radiação é uma forma de energia, emitida por uma fonte, e que se propaga de um ponto a outro sob a forma de partículas com ou sem carga elétrica, ou ainda sob a forma de ondas eletromagnéticas”.

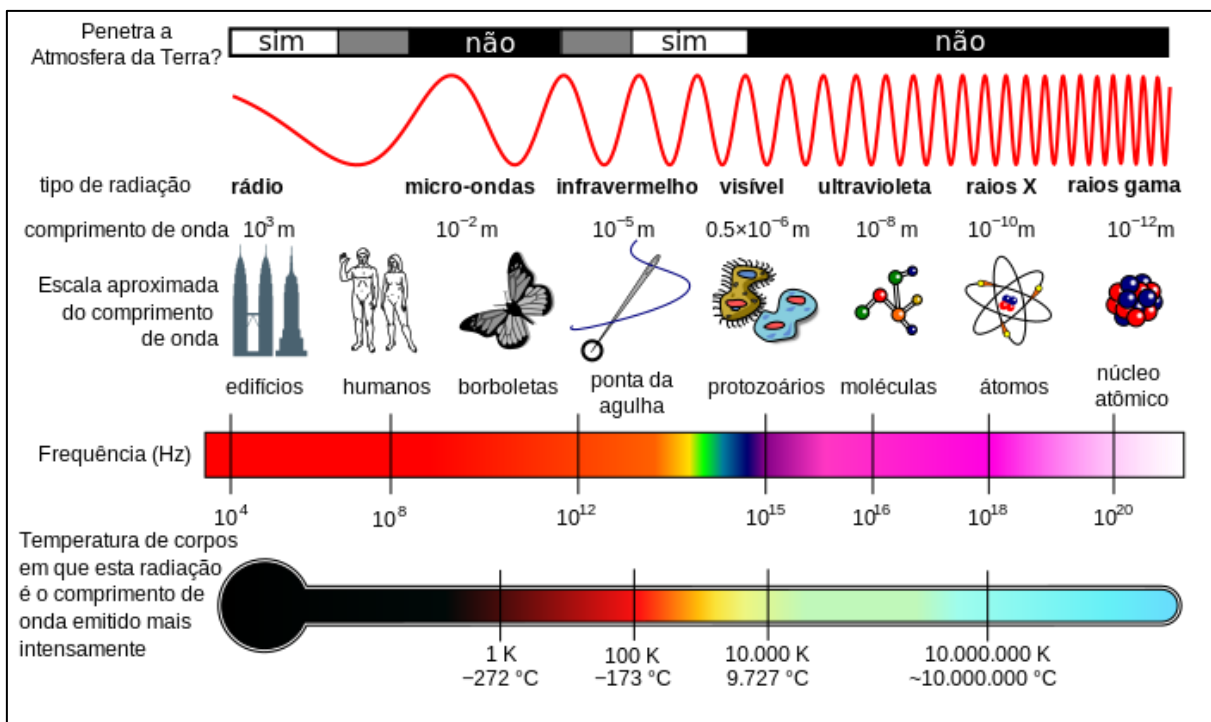
Buonocore *et al.* (2019) comenta que a transmissão da radiação pode ocorrer por meio de um material ou partículas, seguindo duas modalidades distintas: por meio de partículas ou ondas eletromagnéticas.

A radiação eletromagnética foi inicialmente teorizada por James Clerk Maxwell e posteriormente confirmada por Heinrich Hertz. Essa forma de radiação não possui massa, mas sim campos elétricos e magnéticos. É caracterizado por ondas que se propagam pelo ar ou sem vácuo à velocidade da luz, sendo capazes de transportar energia. A diversidade da radiação eletromagnética pode ser discernida por meio do comprimento de suas ondas (Halliday; Walker, 1988).

Segundo Yoshimura (2009), a energia de origem solar e nuclear também se manifesta como formas de radiação. A radiação solar, proveniente do Sol, incide sobre o nosso corpo diariamente. Três categorias distintas podem ser discernidas: a luz visível ou a radiação visível (constituída por diversas radiações com cores irradiadas desde o violeta até o vermelho), a radiação ultravioleta (possuindo alta energia e a capacidade de determinadas ligações químicas) e a radiação infravermelha (de menor energia, responsável apenas por ingestão térmica) (Petrin, 2015).

Conforme Barros (2018), com o tempo outros tipos de radiação foram descobertos, ondas eletromagnéticas classificadas em bandas de diferentes frequências, ou seja: ondas o rádio, micro-ondas, radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta, radiação de raios X e gama. Um conjunto dessas radiações de diferentes frequências é chamado de espectro eletromagnético, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Espectro eletromagnético



Fonte: Barros (2018)

3.5 Radioatividade Natural e Artificial

Elementos radioativos de natureza natural estão presentes em formações rochosas, e a identificação desses elementos e suas partes podem fornecer informações suplementares sobre as características dessas rochas. Especificamente, ^{40}K , ^{232}Th e ^{238}U desempenham um papel crucial na análise da radioatividade das rochas constituintes da crosta terrestre, devido a sua concentração inicial e as ordens de grandeza das suas meias-vidas. A detecção direta desses elementos, ou de seus produtos de decaimento, pode ser realizada por meio de espectrometria gama (Melquiades; Appoloni, 2004).

No cosmos, a cada momento, milhões de átomos estão passando por processos de desestabilização e, como resultado, estão emitindo radiação. Desde os

primórdios da vida na Terra até os tempos atuais, toda a existência do planeta está sujeita à influência da radiação natural (Okuno, 1988).

Embora todas as pessoas estejam expostas à radiação natural, algumas sofrem mais do que outras devido à variabilidade na intensidade de radiação, ao próprio organismo e também à sua localização que pode interferir na absorção da energia, ocorrendo variações de resultados.

Segundo MC Laughlin (2015), é possível categorizar a exposição à radiação em dois tipos: externa e interna. A exposição externa ocorre de forma externa ao corpo e resulta da interação com radiação cósmica e radionuclídeos livres, naturais presentes na Terra. Por outro lado, ocorre uma exposição interna quando radionuclídeos estão presentes no ar e são inalados ou ingeridos. De maneira geral, os níveis de exposição provenientes dessas fontes não atingem patamares perigosos. No entanto, certas atividades humanas podem potencializar os riscos associados a essa exposição.

Ao tratar de radioatividade artificial, no ambiente laboratorial, a transmutação artificial é alcançada ao sujeitar núcleos estáveis a diferentes partículas (como alfa, beta, prótons, nêutrons, entre outras), resultando em uma reação de transmutação artificial. Nesse processo, os núcleos estáveis dos elementos naturais são alterados, dando origem a núcleos de um elemento químico diferente. Isso implica uma modificação de um elemento que, na natureza, não ocorreria naturalmente, mas que pode ser induzida através de ações realizadas em ambientes de laboratório (Fogaça, 2019).

A pioneira transmutação artificial foi realizada por Ernest Rutherford em 1919, ao aplicar bombardeio de partículas alfa em nitrogênio, resultando na produção de oxigênio artificial. Em 1934, os cientistas franceses Jean Frédéric Joliot Curie e Irène-Curie adotaram partículas alfa ${}^4_2\alpha$ para bombardear o alumínio ${}^{27}_{13}\text{Al}$, resultando na criação do isótopo ${}^{30}_{15}\text{P}$ e na geração de um nêutron adicional. Nessa mesma ocasião, foi também identificada uma nova partícula emitida, chamada pósitron (${}^0_{+1}\beta$), que ocorria quando o elemento fósforo 30 era submetido a bombardeio no elemento silício 30 (Fogaça, 2019).

3.6 Radioatividade α , β e γ e Decaimento radioativo

Radiação ionizante é uma forma de radiação que retém energia adequada para remover elétrons de átomos ou emitidos, gerados na formação de íons. Esse fenômeno é denominado ionização, conduzindo à criação de um par composto por um íon negativo e um íon positivo. O íon positivo é o átomo que perdeu o elétron correspondente (Okuno, 1988).

A radiação alfa consiste em partícula com carga positiva, composta por dois prótons e dois nêutrons, o que é equivalente à estrutura do átomo de hélio (${}^4_2\text{He}$). Essas partículas são representadas como ${}^4_2\alpha$. Devido à sua natureza mais massiva os prótons e nêutrons, possui uma velocidade relativamente baixa, o que limita sua capacidade de penetração. Essa capacidade limitada de penetração significa que a partícula alfa pode ser retida mesmo por materiais leves, como folhas de papel (Murat, 2020).

Conforme descrito por Breithaupt (2018), um núcleo que emite uma partícula alfa perde dois prótons e dois nêutrons e, portanto, seu número de prótons diminui de 2 e seu número de massa diminui de 4. Essa mudança pode ser representada conforme a Figura 2.

Figura 2 - Processo de emissão de uma partícula alfa



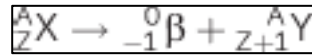
Fonte: Breithaupt (2018, p. 287)

A Primeira Lei da Radioatividade, enunciada por Soddy, sobre as emissões alfa diz que: “Quando um radionuclídeo emite uma partícula α , seu número de massa diminui de 4 unidades e seu número atômico diminui de 2 unidades” (Canto, 2016, p. 154).

Breithaupt (2018) diz que as partículas beta representam elétrons de energia elevada que são liberados por núcleos instáveis caracterizados por um excesso de nêutrons. A identificação das partículas responsáveis pela radiação beta foi realizada mediante a avaliação da trajetória dessas partículas quando estavam em um campo magnético uniforme. A geração e emissão de uma partícula beta ocorrem quando um nêutron apresenta no núcleo uma transformação, tornando-se um próton. Nesse contexto, o número de prótons no núcleo aumenta em uma unidade enquanto o

número de massa permanece inalterado. Essa transformação pode ser representada conforme apresentado na Figura 3 a seguir:

Figura 3 - Processo de emissão de uma partícula alfa



Fonte: Breithaupt (2018, p. 287)

A Segunda Lei da Radioatividade, enunciada por Soddy, Fajans e Russel diz: “Quando um radionuclídeo emite uma partícula beta, seu número de massa permanece constante e seu número atômico aumenta de 1 unidade” (Canto, 2016, p. 155).

A radiação gama não se constitui de partículas, ao contrário das radiações α e β , mas sim de ondas eletromagnéticas que possuem semelhanças com os raios-X.

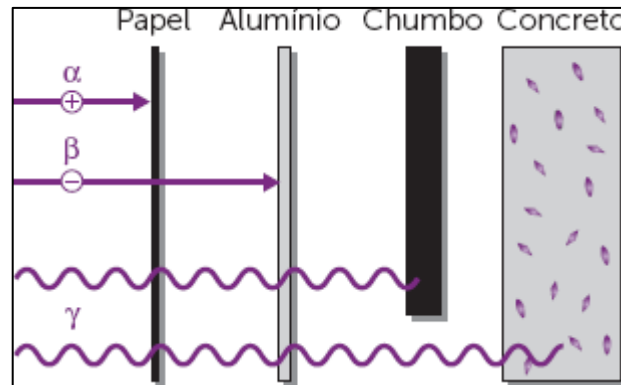
A radiação gama apresenta uma ionização significativamente menor quando comparada às radiações alfa e beta, uma vez que os fótons que compõem a radiação gama, sendo neutros em termos elétricos, interagem de maneira consideravelmente reduzida com a matéria (Breithaupt, 2018).

Contudo, enquanto os raios-X são gerados na eletrosfera, a radiação gama é produzida no núcleo do átomo. Possuindo uma velocidade elevada e uma capacidade de penetração superior às radiações α e β , a radiação gama é capaz de atravessar o corpo humano, porém é efetivamente barrada por lâminas de chumbo com espessura superior a 8mm. Os átomos que emitem esse tipo de radiação não sofrem alterações em seus números atômicos e de massa, uma vez que não há emissão de partículas, mas sim de ondas eletromagnéticas. Assim, representamos a radiação gama por γ^0 (Murat, 2020).

A radiação gama é uma radiação eletromagnética com um comprimento de onda menor que 10–12 m, emitida por núcleos instáveis. Um núcleo instável que emite um fóton de radiação gama permanece com o mesmo número de prótons e o mesmo número de massa (Breithaupt, 2018).

Abaixo (Figura 4), verifica-se a demonstração segundo a imagem de penetração das radiações.

Figura 4 - Poder de penetração das radiações α , β e γ



Fonte: Breithaupt (2018, p. 287)

Também se identificou que a taxa de decaimento por quantidade de massa permanece constante para cada radioelemento particular, independentemente de sua estrutura química ou condição física. No entanto, essa taxa difere substancialmente entre diferentes radioelementos. O processo de decaimento radioativo pode ser quantificado em relação às meias-vidas, que representam o intervalo de tempo necessário para que a atividade de um radioelemento diminua pela metade o seu valor original (Xavier *et al.*, 2007). Isso de acordo com Xavier *et al.* (2007, p. 83) quer dizer que “quando uma partícula alfa for emitida, o novo átomo será deslocado duas casas à esquerda na Tabela Periódica. E quando for emitida uma partícula beta, o novo átomo estará deslocado uma casa à direita na Tabela Periódica”.

Murat (2020) comenta que não podemos esquecer que não são todos os átomos de um mesmo elemento químico que são radioativos, é importante identificá-los pelo número de massa e pelo número atômico. Por definição, átomos do mesmo elemento químico que apresentam números de massa diferentes são chamados nuclídeos ou isótopos.

A taxa de decaimento não depende da composição química ou estado físico, é fixada para qualquer isótopo radioativo em particular. Assim, a lei do decaimento radioativo afirma que a taxa de decaimento nuclear de uma amostra radioativa é proporcional ao número de átomos presentes nela e pode ser expressa pela equação descrita na Figura 5.

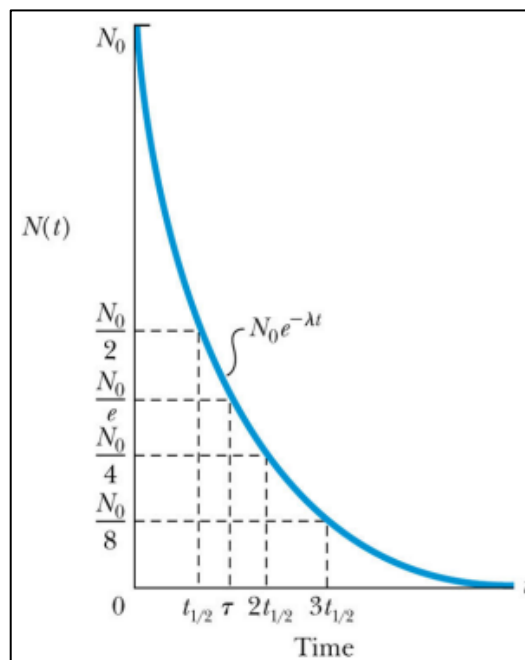
Figura 5 - Equação Decaimento Radioativo

$$N = N_0 \cdot e^{-kt}$$

Fonte: Murat (2020)

Podemos verificar que N = número de núcleos radioativos remanescentes após um tempo t , e N_0 = número de núcleos radioativos na amostra num tempo $t = 0$. Sabendo que K representa a constante de desintegração (Atkins; Jones; Laverman, 2012). O decaimento radioativo nada mais é do que a representação de meia-vida de tempo necessário para que o elemento decaia a metade de seu valor de origem. O tempo de meia-vida é representado por $t^{1/2}$, conforme Figura 6.

Figura 6 - Representação do decaimento radioativo por tempo de meia-vida



Fonte: Gallas (2013)

O tempo de meia-vida é característico de cada elemento radioisótopo, independente de pressão ou temperatura na qual o mesmo é exposto. É de grande importância as informações obtidas pelos radioisótopos, pois é a partir destes dados que podemos determinar suas aplicações e até mesmo prevenções. Segundo Ferreira (2011), vários isótopos radioativos naturais de elementos mais leves com números atômicos menores que 81 são mais comuns e também bem mais conhecidos como hidrogênio, carbono, potássio e rênio. O tempo de meias-vidas desses elementos também podem variar amplamente, de uma dúzia a trilhões de anos.

Existem diversos elementos radioativos presentes na natureza entre os quais alguns são altamente proveitosos, como por exemplo o trítio (um hidrogênio com 1 próton e 2 nêutrons no núcleo), que é aplicado para a marcação isotópica em estudos dos mecanismos das reações químicas. Da mesma forma, o carbono-14 é empregado

para marcar camadas geológicas e determinar a antiguidade de artefatos arqueológicos e formações rochosas fossilizadas. Diante desses diversos radioisótopos conhecidos, na Figura 7, podemos verificar alguns de acordo com o tempo de meia-vida de cada um e as respectivas radiações emitidas.

Figura 7 - Radiação emitida e tempos de meia-vida de diferentes átomos radioativos

Elemento	Meia-vida, $t_{1/2}$	Tipo de radiação emitida
^{238}U (urânio, $z = 92$)	4,5 bilhões de anos	
^{234}Th (tório, $z = 90$)	24,1 dias	α
^{234}Pa (protactínio, $z = 91$)	1,17 min	β
^{234}U (urânio, $z = 92$)	245 mil anos	β
^{230}Th (tório, $z = 90$)	8 mil anos	α
^{226}Ra (rádio, $z = 88$)	1620 anos	α
^{222}Rn (radônio, $z = 86$)	3,8 dias	α
^{218}Po (polônio, $z = 84$)	3,1 min	α
^{214}Pb (chumbo, $z = 82$)	26,8 min	α
^{214}Bi (bismuto, $z = 83$)	19,7 min	β
^{214}Po (polônio, $z = 84$)	0,2 ms	β
^{210}Pb (chumbo, $z = 82$)	22,3 anos	α
^{210}Bi (bismuto, $z = 83$)	5,0 dias	β
^{210}Po (polônio, $z = 84$)	138,4 dias	α
^{206}Pb (chumbo, $z = 82$)	ESTÁVEL	

Fonte: Ferreira (2011)

3.7 Fissão Nuclear

Aproximadamente em 1934, o físico italiano Enrico Fermi observou que ao bombardear os núcleos de certos átomos com nêutrons viajando a velocidades moderadas, esses núcleos poderiam capturar os nêutrons. Esta observação levou Fermi a teorizar que bombardear átomos de urânio (com número atômico $Z = 92$) usando nêutrons de velocidade moderada poderia potencialmente gerar elementos com números atômicos maiores que 92, que eram desconhecidos até então. Fermi e sua equipe de pesquisa realizaram experimentos em busca da comprovação dessa

ideia, embora não tenham isolado com sucesso nenhum elemento novo (Xavier *et al.*, 2007).

Segundo Xavier *et al.* (2007), em 1938, os químicos Otto Hahn e Fritz Stassmann realizaram experimentos semelhantes e detectaram a presença de átomos de bário (com número atômico $Z=56$) após bombardear o urânio com nêutrons de velocidade moderada. A explicação para essa observação foi dada por uma cientista de sua equipe, a física austríaca Lise Meitner, junto com seu sobrinho, o físico Otto R. Frisch. Eles propuseram que o núcleo do átomo de urânio (denotado como "h") era instável e, quando bombardeado com nêutrons de velocidade moderada, se dividiria essencialmente em dois núcleos de massa média, juntamente com a liberação de 2 ou 3 nêutrons e uma quantidade significativa de energia. Esse fenômeno ficou conhecido como fissão nuclear.

Este conceito de reação em cadeia, capaz de produzir grandes quantidades de energia, teve um significado particular durante o período em questão. Era o ano de 1939, com a Segunda Guerra Mundial em andamento e os acontecimentos que levaram ao desenvolvimento de armas nucleares (Souza, 2018).

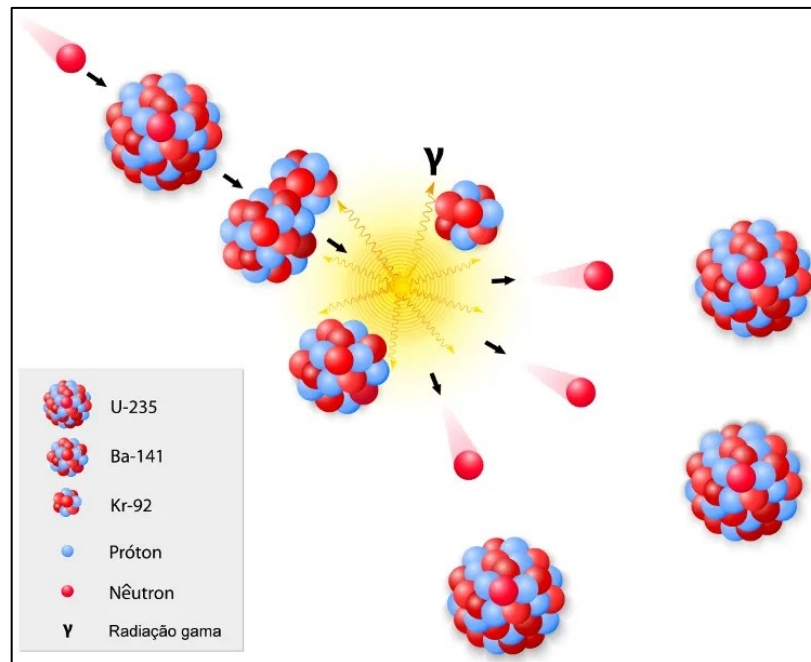
Indicada ao Prêmio Nobel por suas contribuições significativas para essa descoberta ao longo de muitos anos, Lise Meitner nunca recebeu essa prestigiosa honra. Mas, em 1998, a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) nomeou oficialmente o elemento 109 "Meitnerium" em sua homenagem. Algumas pessoas veem esse reconhecimento como uma homenagem mais significativa e justa em comparação com um Prêmio Nobel (Xavier *et al.*, 2007).

Com as devidas descobertas citadas anteriormente, o estudo sobre a fissão ficou cada vez mais popular no meio científico. A detecção de emissões de nêutrons durante a fissão despertou considerações sobre a viabilidade de aproveitar esses nêutrons para gerar mais reações de fissão, iniciando assim um ciclo reativo em sequência. Há que se pontuar que "em 1942, um grupo liderado por Enrico Fermi produziu a primeira reação em cadeia auto sustentada em um reator nuclear que havia sido construído na Universidade de Chicago" (Tipler; Llewellyn, 2014, p. 344).

Foi a partir deste processo de fissão nuclear que bombas como as de Hiroshima e Nagasaki foram criadas (Cardoso *et al.*, 2000).

Vejamos na figura 8, a exemplificação de uma reação em cadeia do elemento Urânio, etapa por etapa: como a reação é desencadeada, e se torna sequencial até a liberação de toda a energia.

Figura 8 - Exemplo de fissão do Urânio



Fonte: Helerbrock (2019)

É fundamental destacar que a energia derivada da fissão nuclear tem uma fonte de origem totalmente diferente da energia gerada por reações químicas. Enquanto em reações químicas de combustão, por exemplo, a energia é liberada através da queima de um material, de um produto, na fissão nuclear, a energia resulta da diferença de massa entre o núcleo original e os novos núcleos formados, conhecida como “defeito de massa” (Murat, 2020).

Segundo Helerbrock (2019), a quantidade de energia gerada na fissão nuclear pode ser calculada por meio da famosa relação de Einstein para a energia de repouso, apresentada na Figura 9.

Figura 9 - Equação de Einstein

$$E = mc^2$$

Fonte: Helerbrock (2019)

3.8 Fusão Nuclear

Durante as pesquisas ocorridas para o desenvolvimento da bomba atômica, Enrico Fermi e Edward Teller dedicaram-se à exploração da concepção de que a

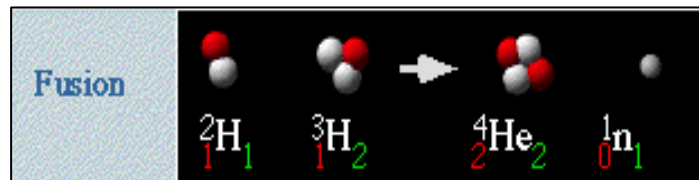
fissão nuclear possivelmente poderia fornecer energia suficiente para iniciar processos de fusão nuclear (Santos *et al.*, 2013).

O poder de fusão envolve a junção de dois núcleos atômicos para criar um núcleo mais massivo. Uma ilustração notável das reações de fusão é o mecanismo de geração de energia no Sol, bem como os dispositivos explosivos termonucleares (como a bomba de hidrogênio). Para iniciar esse processo, é necessária uma quantidade imensa de energia cinética, que é alcançada através de temperaturas da ordem de 10 milhões de graus Celsius, uma vez que a colisão entre dois núcleos envolve uma grande repulsão mútua. A luz e o calor que recebemos do Sol são resultados de reações de fusão nuclear que ocorrem em sua superfície. Nos futuros reatores de fusão nuclear, a fusão de dois núcleos distintos de isótopos de hidrogênio para gerar hélio deverá ser aproveitada para a geração de energia ampla.

A fusão nuclear é o processo pelo qual dois núcleos atômicos se combinam para formar um núcleo mais pesado e liberar grandes quantidades de energia. Este processo é o oposto da fissão nuclear, que é a divisão de um núcleo atômico pesado em dois ou mais núcleos menores.

Observamos na Figura 10, a exemplificação de uma reação de fissão nuclear.

Figura 10 - Exemplo fusão nuclear



Fonte: DFN (s.d.)

De acordo com a equação, Murat (2020) comenta que os átomos de deutério (${}^2_1\text{H}$) e trítio (${}^3_1\text{H}$), isótopos do hidrogênio, reagem por fusão produzindo átomos de hélio. A energia liberada neste processo é extremamente maior do que no processo de fissão nuclear do urânio-235. Como a colisão de dois núcleos envolve muita repulsão eletrostática, a energia cinética deve ser muito alta e o processo é mais fácil para átomos menores.

Diante desse processo, o que é mais difícil é a obtenção de uma alta temperatura e a forma para controlar, visto que a energia produzida é considerada uma energia limpa, sem gerar rejeitos radioativos.

3.9 Aplicações da radiação e radioatividade

Pode-se dizer que o potencial de aproveitamento de radiações, radionuclídeos e energia nuclear é significativo em determinados períodos. A primeira fase da pesquisa radioativa teve como objetivo estrito a descoberta de novos elementos radioativos e a compreensão das principais leis que regem o comportamento das substâncias radioativas. No segundo período, entre as décadas de 40 e 50, a investigação radioquímica concentrou-se na utilização prática da energia nuclear, na sua utilização, na investigação das propriedades químicas dos elementos obtidos artificialmente, no desenvolvimento de tecnologias de processamento da energia nuclear, visando a solução de problemas, como combustível. Pode-se dizer que esses aspectos ainda estão em constante crescimento na área de pesquisa, embora outros aspectos também tenham surgido e sejam discutidos posteriormente (Xavier *et al.*, 2007).

No decorrer da década de 50 foi o período em que cresceram fortemente as técnicas analíticas com ativação de nêutrons, das quais foram de grande importância para o crescimento de outros materiais a serem utilizados no meio radioativo, como carbono, alta pureza, berílio, dentre outros.

Foi a partir dos anos 60 que houve uma gradual conscientização das consequências do uso da matéria radioativa. O foco principal foi voltado para o desenvolvimento sustentável, incluindo alguns aspectos: recuperação de territórios contaminados, estudo dos radionuclídeos naturais, redução da quantidade inevitável de lixo radioativo e desenvolvimento de tecnologia para estocagem de lixo radioativo por um período longo.

Hoje em dia o processo de fissão nuclear é vastamente utilizado em usinas nucleares para geração de energia. A partir disso, são diversos fatores que justificam a utilização da energia nuclear em comparação com outras fontes de energia. Levando em conta as fontes energéticas brasileiras, das fontes renováveis, somente as hidrelétricas são viáveis para geração de grande quantidade de energia elétrica, ao passo que o impacto ambiental provocado com as usinas à flora e à fauna é considerável. Dentre as fontes não renováveis, as usinas nucleares são ótimas opções, visto que as reservas de urânio são significativas (MRS estudos ambientais, 2006).

Ao tratar as questões econômicas e de rendimento das substâncias utilizadas, o Urânio se destaca fortemente por fornecer um maior conteúdo energético por quilograma. Vejamos a seguir uma tabela (Figura 11) que demonstra a proporção de rendimento de energia de acordo com as matérias primas (Murat, 2020).

Figura 11 - Poder energético de materiais

Combustível		Pode produzir cerca de
1 kg de madeira		2 kWh
1 kg de carvão		3 kWh
1 kg de óleo		4 kWh
1 m ³ de gás natural		6 kWh
1kg de urânio natural	usina com reator do tipo PWR	60.000 kWh
	usina com reator do tipo FBR	3.000.000 kWh

Fonte: MRS estudos ambientais (2006)

O emprego da utilização da radiação e radioatividade vai muito além do que apenas geração de energia e siderúrgicas, podemos notar que é vastamente usada na medicina. Conforme dito por Murat (2020), segundo uma matéria publicada pela Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN),

A medicina nuclear é uma especialidade médica que, utilizando métodos seguros, praticamente indolores e não invasivos, emprega materiais radioativos com finalidade diagnóstica e terapêutica. Usa quantidades mínimas de substâncias radioativas (radiofármacos) como ferramenta para acessar o funcionamento dos órgãos e tecidos vivos, realizando imagens, diagnósticos e, também, tratamentos (SBMN, 2019, p.1).

Um dos ramos da medicina nuclear é chamado de cintilografia, e também o PET-CT (tomografia por emissão de pósitron-tomografia computadorizada), uma das grandes tendências atuais. A cintilografia pode ser considerada como uma das técnicas mais eficientes para obtenção de diagnóstico de patologias, por avaliar o funcionamento fisiológico de determinadas estruturas, diferentes das demais (radiografia, tomografia, ultrassonografia). A técnica de investigação por imagens emprega geralmente a chamada Câmara Gama, para detectar a radiação y proveniente das substâncias radioativas (chamadas de "traçadores"), ingeridas pelos pacientes e atraídas para órgãos específicos. A detectabilidade avançada permite observar alterações na função de órgãos, antes mesmo que o problema esteja em

estágio muito avançado. Já o PET-CT pode ser usado como ferramenta de diagnóstico e estadiamento (o processo de determinação da localização e extensão do câncer no corpo) e pode registrar a resposta de um tumor ao tratamento. Segundo Xavier *et al.* (2007, p. 88), “hoje, os radiofármacos usados em medicina nuclear no Brasil são, na maioria, produzidos pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), da CNEN* em São Paulo”.

Conforme comentado por Murat (2020), a radioterapia envolve tratamentos que utilizam a radiação como fonte de energia, sendo muito empregada no combate ao câncer, devido as células cancerígenas serem sensíveis à radiação em relação às células normais, visto que a capacidade de regeneração do DNA das células cancerígenas é menor, ocasionando a sua morte. Mas devido ao grande desenvolvimento nessa área, hoje é possível utilizar doses bem controladas, destruir as células-alvo sem que se afete tanto as demais.

A radioterapia originou-se do uso do rádio por Curie para destruir células cancerosas. No início foi chamada de "terapia Curie". Posteriormente, outros isótopos radioativos começaram a ser utilizados nos procedimentos, apresentando maiores eficiências, os quais foram sendo mais conhecidos. A redução da quantidade e do poder de penetração da radiação utilizada deve-se na maioria das vezes à enorme controvérsia em torno da radiação, que por vezes é a causa de doenças e por vezes é utilizada para tratar essas mesmas doenças e também nos procedimentos de exames diagnósticos (Xavier *et al.*, 2007).

A braquiterapia é uma modalidade de tratamento referente a área de radioterapia, altamente eficaz, em que são utilizadas fontes radioativas em contato direto com a região afetada. O objetivo principal deste procedimento é aplicar doses concentradas de radiação em áreas limitadas do corpo, visando obter um controle mais eficaz da doença e minimizar os efeitos tóxicos nos tecidos adjacentes não contaminados (Esteves *et al.*, 2004).

Atualmente são oferecidas duas formas de tratamento de braquiterapia, isto é, a de dose concentrada e a de baixa concentração. A de alta concentração constitui-se na colocação de uma única fonte radioativa próximo ou no interior do tumor por alguns minutos, sendo muito utilizado essa primeira forma em tratamentos de cânceres ginecológicos, de pulmão, de mama, próstata e câncer de cabeça e pescoço. O tratamento de baixa concentração, consiste na aplicação da fonte de

radiação no tumor por um tempo maior, sendo possível essa prática pelo fato da fonte ser de baixa intensidade.

3.10 Contaminação e lixo radioativo

Embora tenhamos muitas aplicações que demonstram os benefícios da energia e os benefícios que a energia nuclear traz para a sociedade, as pessoas ainda têm muito preconceito contra a energia nuclear. Isso acontece porque existe um enorme potencial de contaminação nos resíduos. Descarte inadequado de materiais radioativos, responsabilidade ambiental das mineradoras e muito mais fonte de poluição. A mesma radioatividade pode curar ou diagnosticar quando uma população está em estado de doença, como o câncer, e também podem causar a mesma doença quando em exposição irresponsável à materiais radioativos.

Segundo Cardoso *et al.* (2000), todos os rejeitos radioativos provenientes de algum processo do qual tenha algum material radioativo devem ser tratados antes de serem liberados para o meio ambiente, se apto a ser descartado. Para que esse lixo radioativo possa ser descartado na natureza, os mesmos devem apresentar um nível de radiação igual ao do meio ambiente e quando não apresentam toxicidades químicas. Tais rejeitos radioativos são classificados quanto a sua atividade de liberação de radiação, em rejeitos de baixa, média e alta atividade. Os rejeitos que apresentam tempo de meia-vida curta são armazenados em locais preparados até sua atividade atingir um valor aproximado ao do meio ambiente, podendo, então, ser descartados. Lembrando que os critérios de liberação levam em conta somente atividade do rejeito. É óbvio que substâncias com atividade ambiental, mas que possuem toxicidade para os seres humanos ou não são benéficas para o ecossistema, não podem ser descartadas sem passar por um tratamento químico para só então ser descartado em local adequado.

Os rejeitos gerados a partir de manuseios de máquinas contaminadas, luvas, sapatilhas, são descartados em tambores ou caixas de aço, assim classificados de acordo com sua contaminação radioativa. Já os produtos resultantes da fissão do combustível em reatores nucleares, são realizados um tratamento diferente, em que são categorizados para ainda serem comercializados, dos quais ainda são utilizados em aplicações de radioisótopos. Os demais rejeitos radioativos que não possuem utilização da qual seja empregada alguma justificativa econômica para serem usados são tratados de uma maneira diferente, os quais são vitrificados e guardados em

sistemas de contenções e armazenados em depósitos de rejeitos radioativos (Cardoso *et al.*, 2000).

3.11 Trabalhos de Ensino na área de radioatividade

Ao trabalharmos com ensino de Química com enfoque em radioatividade, encontramos diversos trabalhos na área, como o de Silva *et al.* (2019), que apresenta uma sequência didática aplicada com 24 (vinte e quatro) alunos do segundo ano do Ensino Médio para ensinar fissão e fusão nuclear a partir de um problema relacionado aos riscos da energia nuclear, com aulas teóricas e vídeos sobre os benefícios desses processos nucleares. Silva *et al.* (2019) em sua análise qualitativa dos dados revelou que os alunos se interessaram e participaram ativamente de todas as fases da abordagem que facilitou o desenvolvimento do conhecimento, o trabalho em equipe e a aprendizagem de conceitos científicos. Nesse caso, constatamos que a criação de um problema contextualizado parece ser uma abordagem valiosa para ensinar conceitos de radioatividade, especialmente fissão e fusão nuclear, para promover a construção do conhecimento de forma ampla e diferenciada.

Murat (2020) que trabalhou o ensino de Química em escolas brasileiras reporta do método tradicional que torna o fazer do aluno mecânico, com práticas de decorar conteúdo e sem conexão significativa com suas vidas cotidianas. Em sua pesquisa buscou melhorar esse cenário educacional, propondo a criação de uma sequência de ensino sobre o tema da radioatividade na perspectiva da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente - CTSA, em que o conhecimento é construído a partir dos conhecimentos prévios dos alunos, tornando o ensino mais relevante e despertando o interesse por novos conceitos. Além disso, a sequência de ensino envolveu uma interação constante entre alunos e professores a partir da utilização de mapas mentais e debates orientados que manteve a dinâmica da aula, incentivou o trabalho em equipe, a autorreflexão e o desenvolvimento das habilidades de comunicação.

No estudo de Zapateiro *et al.* (2020), verificamos que o planejamento e a implementação de uma intervenção didática pautada nos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov; Angotti e Pernambuco (2007) para ensinar assuntos da radioatividade com ênfase na História da Ciência contribuiu para a formação inicial de 13 (treze) acadêmicos do curso de Licenciatura em Química, pois os resultados indicaram que eles compreenderam a importância de incluir aspectos históricos na

construção de conteúdos científicos para melhorar o processo de aprendizagem da Química na Educação Básica. Concluíram ainda que a SE contribuiu significativamente para a formação dos futuros professores, capacitando-os a desenvolver aulas que incorporam o contexto histórico e social. Além disso, os estudantes compreenderam que a ciência não é um corpo de conhecimento pronto e inalterável, mas sim uma disciplina em constante evolução, influenciada por fatores sociais, econômicos e políticos.

4 METODOLOGIA

Neste trabalho, adotamos a metodologia de pesquisa qualitativa que, segundo Flick (2009, p. 27), trata-se de “[...] um processo contínuo de construção de versões da realidade” que se fundamenta na subjetividade e não se quantifica com dados matemáticos. Ao desenvolver uma pesquisa com tais características, o pesquisador precisa se atentar quanto ao número possível de elementos que estarão presentes na situação que almeja avaliar, quanto maior for, melhor, “[...] pois um aspecto supostamente trivial pode ser essencial para a melhor compreensão do problema que está sendo estudado” (Ludke; André, 2018, p. 13).

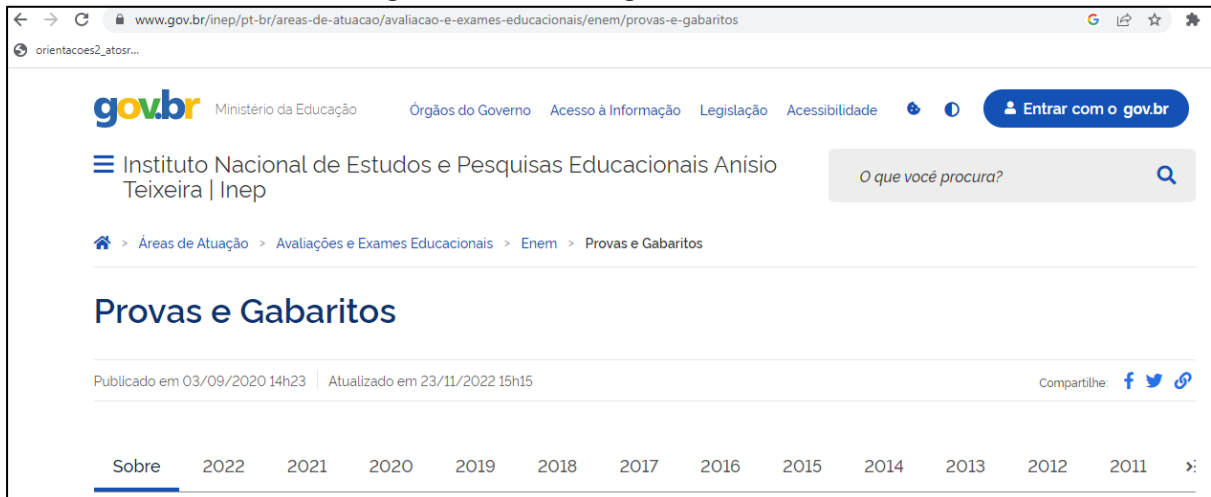
Para compreender nosso problema de estudo, optamos em realizar uma pesquisa do tipo exploratória, que “[...] são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato” (Gil, 2002, p. 27). E, quanto ao delineamento, priorizamos a pesquisa do tipo documental, em que “[...] vale-se de materiais que não receberam ainda um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa” (Gil, 2002, p. 51). Os materiais podem ser aqueles “[...] de primeira mão, que não receberam qualquer tratamento analítico, tais como: documentos oficiais, reportagens de jornal, cartas, contratos, diários, [...]” (Gil, 2002, p. 51). Ou ainda “[...] de segunda mão, que de alguma forma já foram analisados, tais como: relatórios de pesquisa, relatórios de empresas, tabelas estatísticas etc” (Gil, 2002, p. 51).

A coleta, organização e tratamento dos dados foram feitos conforme o método de análise de conteúdo descrito por Bardin (2011, p. 44), qual seja “[...] um conjunto de técnicas de análises das comunicações que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens”. O método proposto por Bardin (2011) é realizado em três fases, a pré-análise, a exploração do material, o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

A pré-análise é o momento de realizar a leitura flutuante e escolher os documentos. Para isso, conforme o objetivo da pesquisa, a constituição do acervo documental foi feita a partir de uma consulta no site do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), a fim de encontrar as provas e gabaritos do ENEM dos anos anteriores. Para isso, no website - Google, o seguinte nome foi digitado: provas do ENEM, aparecendo como resposta, o site do governo

Federal, ao clicar nele, as seguintes informações foram obtidas, conforme ilustrado na Figura 12.

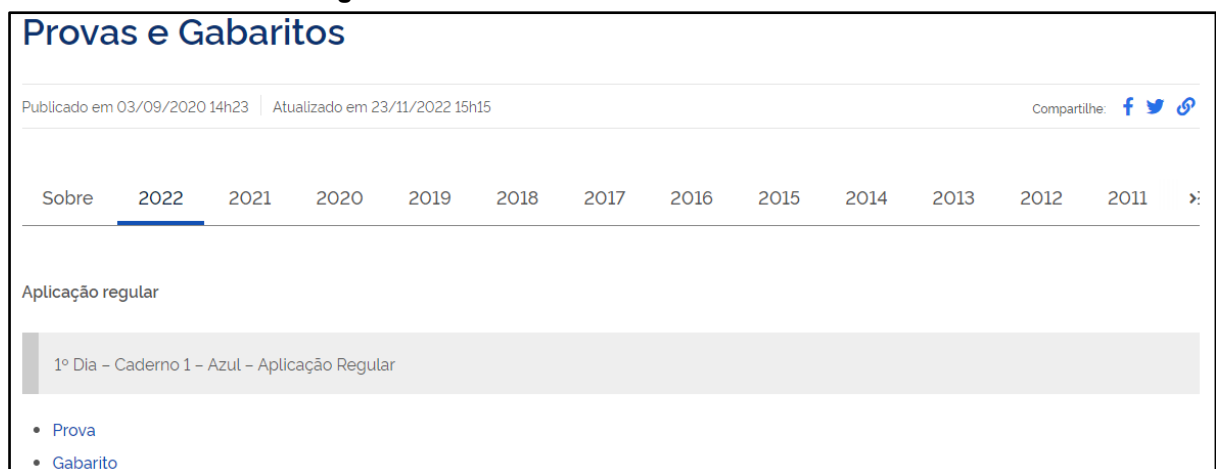
Figura 12 - Provas e gabaritos do ENEM



Fonte: Brasil (2020)

Ao acessar o site, no campo descrito “Prova e Gabaritos” (Figura 13), ao clicar, por exemplo, no ano de 2022, apareceram várias informações referente ao dia e ao caderno de aplicação de provas e seus respectivos gabaritos. O primeiro ano acessado para analisar foi o de 2022, como demonstrado na Figura 13. Podemos observar que na página do site contém as subdivisões, sendo por dia, caderno e cor, e o *link* para acessar a prova e o gabarito.

Figura 13 - Provas e Gabaritos - ano de 2022

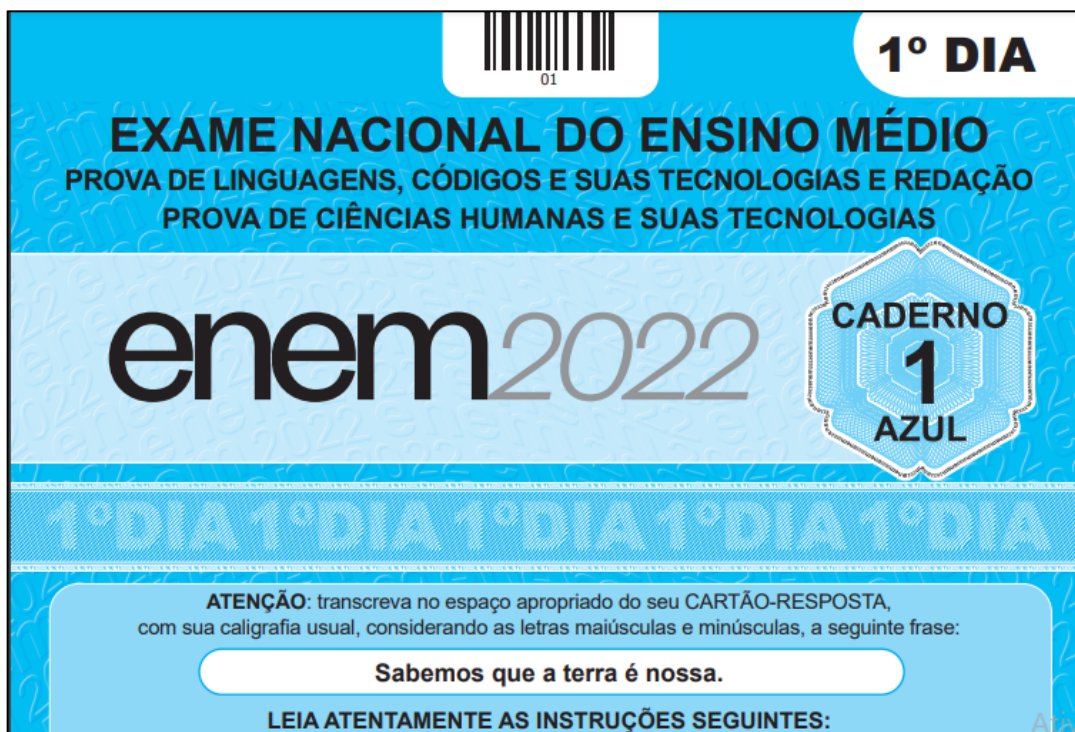


Fonte: Provas e gabaritos ENEM (2022)

Ao clicar sobre a palavra Prova (Figura 14), foi aberto o arquivo referente ao ano de 2022, 1º Dia - Caderno 1 - Azul - Aplicação regular, que se trata da Prova de

Linguagens, códigos e suas tecnologias e Redação, Prova de ciências Humanas e suas tecnologias, conforme imagem da Figura 14.

Figura 14 - Capa da prova do ENEM - 2022



Fonte: Exame nacional do ensino médio (2022)

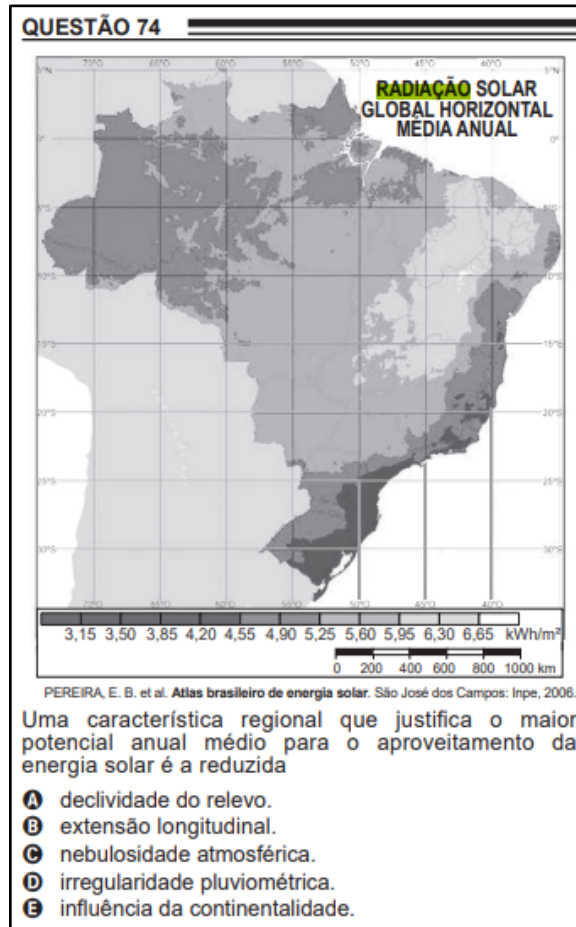
Para a constituição do *corpus* da pesquisa que é “[...] o conjunto dos documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos” (Bardin, 2011, p. 126), algumas regras foram seguidas. Na de exaustividade, atentou-se aos elementos inerentes aos conhecimentos acerca da Radioatividade e, em concomitância com a regra da homogeneidade e de pertinência, levou-se em consideração, na leitura das provas, questões homogêneas e adequadas em informações que aludem com o objetivo da pesquisa.

Assim, na abertura de provas entre os anos de 2012 até 2022, utilizamos o atalho do teclado no notebook, pressionando as teclas: “Ctrl + F”, para escrever e localizar na caixa de diálogo do arquivo, palavras dos assuntos de radioatividade, radiação, radioativo, radioativa, radioisótopo e irradiação, fissão, fusão, desintegração e transformações nucleares, a fim de verificar se haveriam questões com esses assuntos naquele período. Vale ressaltar que essa opção foi feita a partir da matriz do ENEM, conforme os conteúdos da disciplina de Química: **“Transformações nucleares. Conceitos fundamentais da radioatividade. Reações de fissão e fusão**

nuclear. **Desintegração radioativa e radioisótopos**” (INEP, 2020, p. 19, grifos nossos).

Por exemplo, na figura 15, verificamos que a questão 74 do caderno 1 de cor Azul, apesar de aparecer a palavra - radiação, ela foi excluída, porque trata-se de uma radiação natural, ou seja, fora do critério de seleção dos assuntos propostos.

Figura 15 - Exemplo de busca das palavras chaves utilizando o atalho



Fonte: Provas e gabaritos ENEM (2022)

Nesse processo, identificamos 28 (vinte e oito) questões em provas do ENEM na área de Linguagens, códigos e suas tecnologias e redação, prova de ciências humanas e suas tecnologias, que apresentaram no corpo do texto pelo menos um dos assuntos e/ou palavras pesquisados: **radioatividade, radiação, radioativo, radioativa, radioisótopo e irradiação**, conforme seguem descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Questões do ENEM identificadas com as palavras-chaves

ANO	Informações da prova	Questões	Área	Assunto
2022	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 74	Geografia	Radiação Solar
2022	2º Dia – Caderno 7 – Azul	02- Questão 109	Química	Decaimento radioativo
2022	2º Dia – Caderno 7 – Azul	03 – Questão 115	Física	Radiação Solar
2021	1º Dia – Caderno 1 – Azul	Zero	Nenhuma	Nenhum
2021	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01 – Questão 106	Química	Radiação – Radioterapia
2020	1º Dia – Caderno 1 – Azul	Zero	Nenhuma	Nenhum
2020	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01 – Questão 103	Química	Radiação infravermelha
2020	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01 – Questão 117	Física	Radiação infravermelha
2020	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01 – Questão 126	Química	Radiação Nuclear
2019	1º Dia – Caderno 1 – Azul	Zero	Nenhuma	Nenhum
2019	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01 – Questão 105	Química e Física	Radiação Eletromagnética
2019	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01 – Questão 123	Química	Poluição Radioativa
2018	1º Dia – Caderno 1 – Azul	Zero	Nenhuma	Nenhum
2018	2º Dia – Caderno 7 – Azul	Zero	Nenhuma	Nenhum
2017	1º Dia – Caderno 1 – Azul	Zero	Nenhuma	Nenhum
2017	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01 – Questão 94	Biologia e Química	Radiação Luminosa
2017	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01 – Questão 101	Física	Radiação Eletromagnética
2017	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01 – Questão 104	Química	Tempo de meia vida
2017	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01 – Questão 106	Química	Radiação e Soluções
2016	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 51	Química	Exames Radiológicos, reações inorgânicas
2016	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 86	Física	Radiação micro-ondas
2016	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 89	Química	Irradiação eletrônica
2016	2º Dia – Caderno 7 – Azul	Zero	Nenhuma	Nenhum
2015	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 48	Biologia	Aminoácidos marcados radioativamente
2015	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 50	Física	Radiação ultravioleta
2015	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 73	Química	Fissão – elementos radioativos
2015	2º Dia – Caderno 7 – Azul	Zero	Nenhuma	Nenhum
2014	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 48	Química	Radiação ultravioleta
2014	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 76	Física	Radiação ultravioleta
2014	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 66	Química e Física	Energia radioativa
2014	2º Dia – Caderno 7 – Azul	Zero	Nenhuma	Nenhum
2013	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 46	Física e Química	Irradiação
2013	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 52	Física	Radiação de ondas de rádio
2013	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01 – Questão 166	Química e Matemática	Tempo de meia vida
2012	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 53	Química	Radiação ultravioleta
2012	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 65	Biologia	Radiação ultravioleta
2012	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 84	Química	Material Radioativo
2012	2º Dia – Caderno 7 – Azul	Zero	Nenhuma	Nenhum

Fonte: Autoria própria (2023)

Na segunda fase de exploração do *corpus*, elencados no Quadro 1, consideramos como categorias *a priori*, palavras do tipo “[...] léxico (classificação das palavras segundo o seu sentido, com emparelhamento dos sinônimos e dos sentidos próximos) [...]” (Bardin, 2011, p. 147). Portanto, efetuamos os recortes e os agrupamentos das questões em unidades de registro, conforme os assuntos/palavras que definimos como sendo as nossas categorias *a priori*: radioatividade, radiação, radioativo, radioativa, radioisótopo e irradiação, fissão, fusão, desintegração e transformações nucleares, que estivessem presentes em perguntas dos cadernos de provas do ENEM no período delimitado (Bardin, 2011).

Diante a conclusão das duas primeiras fases de organização dos dados (pré-análise e a exploração do material), seguimos com o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação, nos termos de Bardin (2011). Portanto, a partir dos dados apresentados no Quadro 1, realizamos a separação de questões presentes nas provas do ENEM, selecionando somente aquelas do componente curricular de Química. No Quadro 2, abaixo, seguem as questões do ENEM identificadas no componente curricular em Química, nosso *corpus* de análise e discussão.

Quadro 2 - Questões do ENEM da área das Ciências da Natureza - conteúdos de Química

ANO	Informações da prova	Total de questões	Total de questões encontradas	Área	Categoria – radiação
2022	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01- Questão 109	Química	Decaimento radioativo	Química
2020	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01– Questão 126	Química	Radiação Nuclear	Química
2019	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01–Questão 123	Química	Poluição Radioativa	Química
2015	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 73	Química	Fissão – elementos radioativos	Química
2014	1º Dia – Caderno 1 – Azul	01 – Questão 66	Química e Física	Energia radioativa	Química
2013	2º Dia – Caderno 7 – Azul	01 – Questão 166	Química e Matemática	Tempo de meia-vida	Química

Fonte: Autoria própria (2023)

Para complementar a análise, apoiamo-nos em documentos disponibilizados pelo INEP (2020), utilizando a matriz referencial do ENEM, que corroboram com o objetivo proposto, isto é, do modo com que as questões do ENEM no componente curricular de Química são abordadas nas provas.

A matriz de referência está dividida em quatro áreas principais: Linguagens e códigos e suas tecnologias; Humanidades e suas tecnologias; Ciências naturais e suas tecnologias; e Matemática e sua tecnologia. Cada uma destas áreas abrange um conjunto específico de competências e habilidades que os alunos devem desenvolver ao longo do ensino básico e que serão avaliadas no ENEM.

Conforme assevera Gomes (2018), competência refere-se ao conjunto de conhecimentos que os alunos devem compreender e dominar para realizar uma interpretação do mundo e de si mesmos em contextos sociais, existenciais e políticos. Essas competências são expressas por meio das habilidades a serem adquiridas ao interagir com a totalidade desses conhecimentos, que devem se articular de maneira orgânica e contextualizada.

As habilidades, por sua vez, representam a capacidade dos alunos de articular os diversos conhecimentos adquiridos ao longo da educação básica. Essas habilidades não se limitam à simples memorização de informações, mas envolvem a percepção do diálogo intrínseco entre as diferentes formas de conhecimento presentes na cultura humana. A compreensão desse diálogo é fundamental para perceber o conhecimento como uma construção humana que ocorre no contato com o mundo, visando compreendê-lo para agir nele.

A parte referente às “Ciências da Natureza e suas Tecnologias”, na qual constitui-se a área de conhecimento da disciplina de Química, define que o exame deve avaliar alguns itens relacionados às habilidades. Portanto, sobre o tema da radioatividade e às palavras/assuntos deste trabalho, utilizamos as seguintes habilidades para analisar e discutir os resultados obtidos (Brasil, 2009, p.8).

- H4 – Avaliar propostas de intervenção no ambiente, considerando a qualidade da vida humana ou medidas de conservação, recuperação ou utilização sustentável da biodiversidade.
- H8 – Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.
- H9 – Compreender a importância dos ciclos biogeoquímicos ou do fluxo energia para a vida, ou da ação de agentes ou fenômenos que podem causar alterações nesses processos.

- H10 – Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e(ou) destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais.
- H12 – Avaliar impactos em ambientes naturais decorrentes de atividades sociais ou econômicas, considerando interesses contraditórios.
- H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- H18 – Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.
- H19 – Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental.
- H20 – Caracterizar causas ou efeitos dos movimentos de partículas, substâncias, objetos ou corpos celestes.
- H21 – Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.
- H22 – Compreender fenômenos decorrentes da interação entre a radiação e a matéria em suas manifestações em processos naturais ou tecnológicos, ou em suas implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais.
- H23 – Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.
- H24 – Utilizar códigos e nomenclatura da química para caracterizar materiais, substâncias ou transformações químicas.
- H25 – Caracterizar materiais ou substâncias, identificando etapas, rendimentos ou implicações biológicas, sociais, econômicas ou ambientais de sua obtenção ou produção.

- H26 – Avaliar implicações sociais, ambientais e/ou econômicas na produção ou no consumo de recursos energéticos ou minerais, identificando transformações químicas ou de energia envolvidas nesses processos.

- H27 – Avaliar propostas de intervenção no meio ambiente aplicando conhecimentos químicos, observando riscos ou benefícios.

Assim, o saber humano, embora construído em um mundo abstrato, tem como finalidade compreender e intervir no mundo concreto em que vivemos. A relação dialética entre o concreto e o abstrato é essencial nesse processo, destacando a interconexão entre o conhecimento humano, as questões levantadas pela humanidade em seu contexto e a intervenção no mundo (Gomes, 2018).

Além das habilidades e competências, podemos verificar também que de acordo com INEP (2020) os eixos cognitivos permeiam as grandes áreas, como também entre as disciplinas que as compõem. Os eixos cognitivos são:

- Dominar linguagens (DL): dominar a norma culta da Língua Portuguesa e fazer uso das linguagens matemática, artística e científica e das línguas espanhola e inglesa.
- Compreender fenômenos (CF): construir e aplicar conceitos das várias áreas do conhecimento para a compreensão de fenômenos naturais, de processos histórico geográficos, da produção tecnológica e das manifestações artísticas.
- Enfrentar situações-problema (SP): selecionar, organizar, relacionar, interpretar dados e informações representados de diferentes formas, para tomar decisões e enfrentar situações-problema.
- Construir argumentação (CA): relacionar informações, representadas em diferentes formas, e conhecimentos disponíveis em situações concretas, para construir argumentação consistente.
- Elaborar propostas (EP): recorrer aos conhecimentos desenvolvidos na escola para elaboração de propostas de intervenção solidária na realidade, respeitando os valores humanos e considerando a diversidade sociocultural.

No próximo capítulo, apresentaremos os resultados e discussões obtidos na coleta de dados da pesquisa documental.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Partindo das análises realizadas nos quadros anteriores, verificamos várias questões na temática da Radioatividade nas provas do ENEM. Esse conteúdo foi trabalhado por outras matérias em áreas diferentes, entre elas a Física, a Química e a Biologia. Diante disso, os resultados a serem discutidos são referentes às questões do componente curricular - Química, conforme objetivo da pesquisa.

Adotaremos uma abordagem semelhante ao do trabalho realizado por Guariglia; Viggiano e Mattos (2009), em que, após realizado a leitura das questões selecionadas no Quadro 2, identificamos as características mais redundantes das perguntas, sintetizadas em categorias, de acordo com a matriz referencial do ENEM (Brasil, 2009).

Isso é evidente na estrutura de avaliação do ENEM 2009 conforme descrito na Matriz de referência, conhecido como "Novo Enem" (Brasil, 2009). Essa estrutura serviu de base para a formulação das perguntas, que se tornou uma das principais ferramentas de avaliação do sistema educacional brasileiro. Além disso, passou a representar uma das principais vias de ingresso nas instituições de ensino superior públicas do país. No texto oficial (Brasil, 2009), a seção relacionada às Ciências da Natureza e suas Tecnologias estipula que o exame deve abordar diversos tópicos referentes ao tema.

Inicialmente, as questões foram organizadas de acordo com as competências e habilidades descritas na estrutura de referência do exame (Brasil, 2009) para a área de Ciências da Natureza. Essa estrutura inclui oito competências, cada uma abrangendo um conjunto de habilidades, totalizando trinta habilidades no total. As questões abordam cinco dessas competências (C1, C2, C3, C5, C6), conforme estabelecido na matriz de referência (Hernandes; Martins, 2013).

A análise realizada será de acordo com a disciplina de Química. Conforme abordado anteriormente, o campo de estudo da Radioatividade é amplamente vasto e de diversas aplicações e utilizações na sociedade. Diante disso, justifica-se o tema do trabalho, EXAME NACIONAL DO ENSINO MÉDIO (ENEM) E RADIOATIVIDADE: ANÁLISE DAS QUESTÕES DE QUÍMICA NO PERÍODO DE 2012 A 2022, devido a sua complexidade e amplitude de estudo ao tema escolhido.

Conforme o Quadro 2, identificamos seis questões do componente curricular em Química, as quais compõem os três tipos de categorias definidas a priori:

radioisótopo (109), radioativo (166, 66, 73) e radioativa (123,126). No ano de 2022, observamos a questão 109:

Figura 16 - Questão 109 do Caderno Azul ENEM 2022

QUESTÃO 109

O elemento iodo (I) tem função biológica e é acumulado na tireoide. Nos acidentes nucleares de Chernobyl e Fukushima, ocorreu a liberação para a atmosfera do radioisótopo ^{131}I , responsável por enfermidades nas pessoas que foram expostas a ele. O decaimento de uma massa de 12 microgramas do isótopo ^{131}I foi monitorado por 14 dias, conforme o quadro.

Tempo (dia)	Massa residual de ^{131}I (μg)
0	12,0
2	10,1
4	8,5
5	7,8
6	7,2
8	6,0
14	3,6

Após o período de 40 dias, a massa residual desse isótopo é mais próxima de

A 2,4 μg .
 B 1,5 μg .
 C 0,8 μg .
 D 0,4 μg .
 E 0,2 μg .

Fonte: Provas e gabaritos ENEM (2022)

Para resolução da questão, será necessário conhecimento sobre tempo de meia vida, referente ao decaimento radioativo do elemento. Analisando a tabela, podemos ver que o tempo de meia-vida do radioisótopo ^{131}I é de 8 dias. Dessa forma, ao passar dos 40 dias, conforme descrito no enunciado do exercício, teremos 5 tempos de meia-vida.

Conforme cálculos abaixo (apresentado na Figura 17), temos um valor aproximado da resposta referente a letra D. Assim, a massa residual desse isótopo é de aproximadamente 0,4 μg .

Figura 17 - Resolução do cálculo de decaimento radioativo referente a questão 109

$$\begin{array}{l}
 12 \mu\text{g} \xrightarrow{1^{\circ} t_{1/2}} 6 \mu\text{g} \xrightarrow{2^{\circ} t_{1/2}} 3 \mu\text{g} \xrightarrow{3^{\circ} t_{1/2}} 1,5 \mu\text{g} \\
 1,5 \mu\text{g} \xrightarrow{4^{\circ} t_{1/2}} 0,75 \mu\text{g} \xrightarrow{5^{\circ} t_{1/2}} 0,375 \mu\text{g}
 \end{array}$$

Fonte: Autoria própria (2023)

Nessa esteira, podemos verificar que a questão analisada referente a categoria, *a priori*, radioisótopo, em que grande parte do texto presente na questão não se faz necessário, fica evidente que existiu a intenção de relacionar o contexto apresentado no suporte da questão com a problematização e resolução do item. Porém, o que se observa é que não foi exigido do(a) candidato que o(a) mesmo(a) estabelecesse relações com outras esferas do conhecimento, mas sim apenas reconhecer e compreender a teoria científica para encontrar a resposta correta. Podemos constatar que durante todo o período de aplicação do ENEM analisado neste trabalho, isto é, 10 anos, apenas 0,22% são referentes a radioisótopo no conteúdo da área de Química.

Pela análise da questão mencionada é fácil perceber que, embora o ENEM após 2009 surgiu com o propósito de substituir vestibulares tradicionais que priorizam a memorização de informações, na prática, muitas questões possuem um forte apelo ao conteudismo (Costa-Beber; Maldaner, 2015). Os referidos autores declaram que as questões descontextualizadas e fragmentadas de vestibulares tradicionais são criticadas ao longo de anos pois têm como foco apenas em conceitos e conteúdo.

Diferentemente do exposto, Silva *et al.* (2019, p. 59) afirmam que “o ensino da radioatividade seja focalizado, entre outras coisas, compreender os riscos e benefícios quanto ao uso da energia nuclear em relação às questões sociais, éticas, políticas e ambientais capazes de dialogar com a realidade do estudante”.


No caso da questão 109, o tema radioatividade é tratado por meio de dois grandes acidentes nucleares, sendo o mais recente o de Fukushima, no Japão, ocorrido em março de 2011, desencadeado por um terremoto com epicentro no Oceano Pacífico seguido de um tsunami com intensidade de 9,2 na escala Richter. O fenômeno provocou “[...] além do vazamento de Plutônio, foram identificados Césio-137 e Iodo-131 em níveis anormais a mais de 400 km da usina” (Vasconcelos, 2018, p. 92). O desastre de Chernobyl na Ucrânia, ocorrido em abril de 1986, por sua vez, foi resultado de falha humana, pois aconteceu durante um teste de segurança

acarretando no superaquecimento de um dos reatores seguido de uma grande explosão. Consequentemente, o incêndio espalhou uma nuvem com alta quantidade de material radioativo “dentre os elementos e compostos mais voláteis e prejudiciais, destaca-se o iodo (I-131), o estrôncio (Sr-90) e os sais de césio (Cs-137), [...]” (Vasconcelos, 2018, p. 90).

Diante do exposto, podemos afirmar que embora a questão relate dois fatos históricos de grande repercussão mundial, que podem despertar nos estudantes o pensamento crítico e reflexivo, foram apresentados de maneira fragmentada e descontextualizada. Isso porque, para resolver a questão, não é necessário utilizar nenhuma informação histórica mencionada no enunciado, bastando saber calcular o tempo de meia vida do radioisótopo.

Diante dos eixos apresentados, na questão 109 analisada, percebe-se a necessidade das habilidades, H8, H12, H17, H18, H19, H20, H21, H22, H23, H24, H25, H26, H27. Na Figura 18, em seguida, apresentamos a questão 126.

Figura 18 - Questão 126 do Caderno Azul ENEM 2020

Questão 126 

Embora a energia nuclear possa ser utilizada para fins pacíficos, recentes conflitos geopolíticos têm trazido preocupações em várias partes do planeta e estimulado discussões visando o combate ao uso de armas de destruição em massa. Além do potencial destrutivo da bomba atômica, uma grande preocupação associada ao emprego desse artefato bélico é a poeira radioativa deixada após a bomba ser detonada.

Qual é o processo envolvido na detonação dessa bomba?

- A** Fissão nuclear do urânio, provocada por nêutrons.
- B** Fusão nuclear do hidrogênio, provocada por prótons.
- C** Desintegração nuclear do plutônio, provocada por elétrons.
- D** Associação em cadeia de chumbo, provocada por pósitrons.
- E** Decaimento radioativo do carbono, provocado por partículas beta.

Fonte: Provas e gabaritos ENEM (2022)

Para resolução da questão 126, do caderno Azul ENEM 2020, será necessário que o aluno tenha conhecimento sobre a definição de fissão nuclear, referente ao elemento urânio, utilizado na fabricação de bombas e em usinas nucleares. O

desencadeamento da reação inicia-se com o bombardeamento de nêutrons no núcleo do elemento urânio, dessa forma liberando toda a energia.

Diante disso, podemos verificar que a categoria *a priori* referente a palavra-chave radioativa, na questão 126, foi utilizada reforçando a visão negativa que as pessoas têm a respeito da radioatividade. Consideramos que o enunciado da questão 126, ao mencionar que a energia nuclear pode ser utilizada para fins pacíficos, deveria ter dado exemplos de aplicações benéficas à vida humana tais como: exames diagnósticos, tratamento do câncer, irradiação na agricultura e nos alimentos, radioesterilização, dentre outras. Contrariamente, o que se observa com grande frequência, tanto em livros quanto na mídia, é a relação da radioatividade como algo perigoso.

Para que esse cenário mude, se faz necessário que o professor trabalhe esse tema de forma mais ampla possibilitando que os alunos compreendam

[...] que as implicações de um desenvolvimento na área nuclear não se limitam apenas aos riscos relacionados à radioatividade, mas inclui também a geração de empregos, o aumento na exportação de alimentos, as formas alternativas de geração de energia, o crescimento tecnológico de um país que detém conhecimento sobre o desenvolvimento industrial nessa área, dentre outros aspectos (Vasconcelos, 2018, p. 82).

A autora afirma ainda que ao apresentar aplicações benéficas e maléficas desta temática o professor possibilita que os estudantes entendam que existem inúmeras finalidades para a radioatividade, “[...] desmistificando fatores que implicam uma imagem negativa e preconceituosa sobre os processos radioativos” (Vasconcelos, 2018, p. 83).

Um dado importante que pode ser tratado em sala de aula, na busca por diminuir a desconfiança da população brasileira a respeito da radioatividade, é o fato de que o Brasil possui duas usinas nucleares em operação (Angra 1 e 2) construídas na década de 80, além de já planejar construir a terceira usina nuclear até 2030 (Fernandes *et al.*, 2021). Conseqüentemente, é importante que os estudantes compreendam a Química nuclear e suas aplicações.

Diante disso, podemos verificar que a categoria referente a palavra radioativa, da mesma forma que na questão 109 de 2022, buscou estabelecer uma relação entre a contextualização, o conteúdo e os distratores sem necessidade porque a resolução da situação-problema não exigiu compreensão do contexto apresentado, apenas

domínio de conteúdo teórico sobre o tema fissão nuclear. Podemos verificar que questões da área de Química, referente radioativa, representam cerca de 0,44% dos históricos trabalhados nas edições do ENEM.

Referente às habilidades para resolução da questão, foram apenas necessárias as H20, H21, H22, H23, H24, H25, H26, H27.

Figura 19 - Questão 123 do Caderno Azul ENEM 2019

Questão 123

A poluição radioativa compreende mais de 200 núclídeos, sendo que, do ponto de vista de impacto ambiental, destacam-se o céscio-137 e o estrôncio-90. A maior contribuição de radionuclídeos antropogênicos no meio marinho ocorreu durante as décadas de 1950 e 1960, como resultado dos testes nucleares realizados na atmosfera. O estrôncio-90 pode se acumular nos organismos vivos e em cadeias alimentares e, em razão de sua semelhança química, pode participar no equilíbrio com carbonato e substituir o cálcio em diversos processos biológicos.

FIGUEIRA, R. C. L.; CUNHA, I. I. L. A contaminação dos oceanos por radionuclídeos antropogênicos. *Química Nova*, n. 21, 1998 (adaptado).

Ao entrar numa cadeia alimentar da qual o homem faz parte, em qual tecido do organismo humano o estrôncio-90 será acumulado predominantemente?

- A Cartilaginoso.
- B Sanguíneo.
- C Muscular.
- D Nervoso.
- E Ósseo.

Fonte: Provas e gabaritos ENEM (2022)

Para resolução da questão 123 do Caderno Azul ENEM 2019, necessitamos de um conhecimento da área de Biologia e Química. A resposta correta para a questão é a letra E, devido o Estrôncio-90 se acumular em seres vivos, podendo participar do equilíbrio com carbonato e substituir o Cálcio. Diante disso, podemos constatar que é a letra E porque nos ossos contêm a maior parte de cálcio do nosso corpo. Para resolver o problema, é crucial que o(a) participante leve em conta as informações essenciais presentes no enunciado. Ademais, é importante estabelecer uma conexão, ainda que seja simples e direta, entre a situação apresentada, as instruções fornecidas, os conceitos de Química e Biologia e elementos do cotidiano. Esse processo é fundamental para solucionar as questões propostas. Podemos constatar

que questões da área de Química, referente a categoria radioativa, representam cerca de 0,44% dos históricos trabalhados nas edições do ENEM. Além disso, a questão 123 trata de um assunto que causa pavor na população mundial que é a poluição radioativa e seus impactos no ser humano e no ambiente. O receio justifica-se pelo fato de que

um desastre nuclear prejudica tanto aqueles que já vivem no ambiente contaminado quanto aqueles que ainda nascerão, principalmente considerando que os efeitos da radiação no corpo humano ainda são pouco conhecidos e por isso podem afetar diretamente futuros bebês de mães que tiveram seu material genético radioativamente modificado (Martuscelli, 2015, p. 228).

Há vários direitos que são violados em decorrência de desastre nuclear, considerando aqueles que ficam e os que se deslocam de ambientes contaminados por radiação, por exemplo, o direito de levar uma vida digna em um ambiente sadio para a geração presente e para as futuras gerações (Martuscelli, 2015).

Mesmo a questão 123 trazendo o lado negativo da radioatividade do ponto de vista biológico o assunto tratado é de extrema importância. Porém, são muitas demandas sociais envolvidas na problemática da poluição radioativa, fora os problemas ambientais e biológicos propriamente ditos. Sem falar nas questões éticas e econômicas que envolvem o uso da radioatividade para fins destrutivos.

Dito de outra forma, o enunciado da questão 123 deveria apresentar informações que despertassem o “[...] desenvolvimento da capacidade de tomada de decisão por meio de uma abordagem que inter-relacione ciência, tecnologia e sociedade, concebendo a primeira como um processo social, histórico e não dogmático” (Santos; Schnetzler, 2010, p. 79). Essa visão crítica e reflexiva da ciência se caracteriza como um verdadeiro ensino CTS, pois “[...] apresenta uma visão crítica sobre as implicações sociais da Ciência, no sentido das relações de poder e das implicações mais amplas da tecnologia em termos de suas consequências socioambientais em uma perspectiva de justiça social” (Santos; Schnetzler, 2010, p. 74).

Ao considerarmos a qualidade de promover o exercício crítico dos alunos, o ensino da Química deve abandonar o caráter reducionista e conteudista, possibilitando a alfabetização científica. Segundo Chassot (2003, p. 93), é preciso “[...] ensinar mais com o conhecimento, isto é, como torná-lo instrumento para a facilitação de uma leitura do mundo mais adequada e, principalmente, mais crítica.”

Referente às habilidades para resolução da questão 123, foram apenas necessárias as, H17, H18, H19, H22, H24, H25, H26, H27, H30.

Figura 20 - Questão 73 do Caderno Azul ENEM 2015

QUESTÃO 73 ◇◇◇◇◇

A bomba
reduz neutros e neutrinos, e abana-se com o leque da
reação em cadeia

ANDRADE, C. D. *Poesia completa e prosa*. Rio de Janeiro: Aguilar, 1973 (fragmento).

Nesse fragmento de poema, o autor refere-se à bomba atômica de urânio. Essa reação é dita "em cadeia" porque na

- A** fissão do ^{235}U ocorre liberação de grande quantidade de calor, que dá continuidade à reação.
- B** fissão de ^{235}U ocorre liberação de energia, que vai desintegrando o isótopo ^{238}U , enriquecendo-o em mais ^{235}U .
- C** fissão do ^{235}U ocorre uma liberação de nêutrons, que bombardearão outros núcleos.
- D** fusão do ^{235}U com ^{238}U ocorre formação de neutrino, que bombardeará outros núcleos radioativos.
- E** fusão do ^{235}U com ^{238}U ocorre formação de outros elementos radioativos mais pesados, que desencadeiam novos processos de fusão.

Fonte: Provas e gabaritos ENEM (2022)

Para resolução da questão 73 do Caderno Azul ENEM 2015, verificamos que é necessário apenas uma interpretação do poema descrito, pois não municia nenhuma informação da qual o aluno não conseguiria responder à questão, o mesmo ocorre com à questão número 126 do ano 2020. É necessária a definição teórica do conteúdo de fissão e fusão nuclear, dessa forma, selecionando a letra C como alternativa correta. Ou seja, as questões socioambientais, éticas, políticas que envolvem desastres nucleares foram deixadas de lado. Podemos verificar que questões da área de Química, referente radioativa, representam cerca de 0,66% dos históricos trabalhados nas edições do Enem, sendo que a base utilizada para o cálculo foi das edições citadas neste trabalho, levando em conta que cada edição possui 45 questões de ciências da natureza.

Com relação ao enunciado da questão 73, consideramos que seria pertinente mencionar fatos relacionados ao lançamento das bombas em Hiroshima e Nagasaki

durante a Segunda Guerra Mundial, pois trata-se de um processo de fissão nuclear que é igualmente usado para produção de energia elétrica em usinas termoelétricas.

Para Cunha (2021), o protagonismo da ciência e da tecnologia ficou abalado por conta do lançamento das bombas sobre o Japão, em 1941 pelos Estados Unidos. Naquele momento a sociedade começou a questionar se o avanço tecnológico, que gera tanto bem estar a sociedade, compensaria tamanho prejuízo ambiental, social e econômico.

Consoante com o exposto, Silva *et al.* (2019, p. 59) argumentam que “o ensino da radioatividade seja focalizado, entre outras coisas, [em] compreender os riscos e benefícios quanto ao uso da energia nuclear em relação às questões sociais, éticas, políticas e ambientais [...]”. E, pudemos constatar que referente às habilidades para resolução da questão 73, foram necessárias apenas as H17, H18, H19, H22, H24, H25, H26, H27, H30.

Figura 21 - Questão 166 do Caderno Azul ENEM 2013

QUESTÃO 166

Em setembro de 1987, Goiânia foi palco do maior acidente radioativo ocorrido no Brasil, quando uma amostra de césio-137, removida de um aparelho de radioterapia abandonado, foi manipulada inadvertidamente por parte da população. A meia-vida de um material radioativo é o tempo necessário para que a massa desse material se reduza à metade. A meia-vida do césio-137 é 30 anos e a quantidade restante de massa de um material radioativo, após t anos, é calculada pela expressão $M(t) = A \cdot (2,7)^{kt}$, onde A é a massa inicial e k é uma constante negativa.

Considere 0,3 como aproximação para $\log_{10} 2$.

Qual o tempo necessário, em anos, para que uma quantidade de massa do césio-137 se reduza a 10% da quantidade inicial?

A 27
B 36
C 50
D 54
E 100

Fonte: Provas e gabaritos ENEM (2022)

Embora a questão 166 narre um fato histórico brasileiro, considerado o maior acidente radiológico do mundo, a resolução depende exclusivamente do desenvolvimento matemático da expressão indicada no enunciado. Desta forma, podemos inferir que há outros fatos importantes a respeito do acidente em Goiânia

que poderiam ser tratados em exames do ENEM. Com relação ao conhecimento que envolve conceitos químicos podemos citar: o uso de banhos de descontaminação com ferrocianeto férrico (Azul da Prússia) prescrita aos irradiados com o Césio-137, bem como o uso de chumbo na construção de tambores utilizados na época para transportar o lixo radioativo e na fabricação dos caixões nos quais foram enterradas as quatro vítimas do acidente radioativo (Vieira, 2013). Também são assuntos que possibilitariam a construção da cidadania crítica: as questões políticas, sociais e ambientais que envolveram a escolha do lugar em que seria depositado todo o lixo radioativo, o preconceito que a população goiana sofreu após o acidente, quais são as normas internacionais de descontaminação foram utilizadas, dentre outras.

Já para a resolução da questão 166 do Caderno Azul ENEM de 2013, verificamos que é necessário conhecimento teórico de Química (decaimento radioativo, comumente conhecido como tempo de meia-vida, que cada elemento radioativo possui) e de matemática. Na figura 22, segue a resolução da questão, em qual se faz importante todas as informações, pois busca estabelecer a relação com conhecimentos de outras áreas para serem resolvidos, bem como envolve processos de análise e investigação, sugere interpretações mais complexas e relaciona interdisciplinarmente o conteúdo de Química com o de Matemática.

Figura 22 – Resolução da questão 166

Do enunciado, a meia vida do Césio-137 é 30 anos, ou seja, $M(30) = \frac{1}{2}A$

$$\frac{1}{2}A = (2,7)^{k \cdot 30} \cdot A$$

$$\frac{1}{2} = (2,7)^{30 \cdot k}$$

$$(2,7)^k = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{30}} \quad (I)$$

Seja t_1 o tempo para que a massa do Césio-137 seja reduzida a 1 décimo.

$$M(t_1) = \frac{A}{10}$$

$$A[(2,7)^k]^{t_1} = \frac{A}{10} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \left[\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{30}}\right]^{t_1} = \frac{1}{10} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 2^{-\frac{t_1}{30}} = 10^{-1} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \log 2^{-\frac{t_1}{30}} = \log 10^{-1} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow -\frac{t_1}{30} \cdot \log 2 = -1 \Leftrightarrow t_1 \cdot 0,3 = 30 \therefore t_1 = 100 \text{ anos}$$

Fonte: Provas e gabaritos ENEM (2022)

Podemos verificar que questões da área de Química, referente radioativa, representam cerca de 0,66% dos históricos trabalhados nas edições do Enem, sendo que a base utilizada para o cálculo foi das edições citadas neste trabalho, levando em conta que cada edição possui 45 questões de ciências da natureza. Referente às habilidades para resolução da questão, foram apenas necessárias as H8, H12, H17, H18, H19, H20, H21, H22, H23, H24, H25, H26, H27.

Figura 23 - Questão 66 do Caderno Azul ENEM 2014

QUESTÃO 66

A elevação da temperatura das águas de rios, lagos e mares diminui a solubilidade do oxigênio, pondo em risco as diversas formas de vida aquática que dependem desse gás. Se essa elevação de temperatura acontece por meios artificiais, dizemos que existe poluição térmica. As usinas nucleares, pela própria natureza do processo de geração de energia, podem causar esse tipo de poluição.

Que parte do ciclo de geração de energia das usinas nucleares está associada a esse tipo de poluição?

- A** Fissão do material radioativo.
- B** Condensação do vapor-d'água no final do processo.
- C** Conversão de energia das turbinas pelos geradores.
- D** Aquecimento da água líquida para gerar vapor-d'água.
- E** Lançamento do vapor-d'água sobre as pás das turbinas.

Fonte: Provas e gabaritos ENEM (2022)

Para resolução da questão 66 do Caderno Azul ENEM 2014, é necessário conhecimento da teoria da fissão nuclear, e o funcionamento das usinas nucleares. Nas usinas nucleares, durante as fases de conversão de energia, ocorre o fenômeno da evaporação da água devido ao calor produzido pelo reator. Esse vapor é então conduzido com alta pressão para mover as pás das turbinas, que por sua vez acionam os geradores. Em seguida, o vapor é resfriado nos condensadores para retornar ao estado líquido e voltar às caldeiras. No entanto, o processo de transferência de calor nos condensadores, que envolve a utilização de água proveniente de rios, lagos e mares como mencionado anteriormente no texto, resulta na liberação de poluição térmica.

Sendo assim, podemos verificar que questões da área de Química, referente radioativa, representam cerca de 0,66% dos históricos trabalhados nas edições do Enem, sendo que a base utilizada para o cálculo foi das edições citadas neste

trabalho, levando em conta que cada edição possui 45 questões de ciências da natureza. Referente às habilidades para resolução da questão, foram apenas necessárias as H8, H12, H17, H18, H19, H20, H21, H22, H23, H24, H25, H26, H27.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que pudéssemos garantir o sucesso deste trabalho foi essencial considerar, em primeiro lugar, as diretrizes oficiais que abordam a estrutura e formulação do novo modelo do ENEM. A versão revisada e lançada em 2009 tem como objetivo principal se adaptar ao que é descrito como uma educação construtiva e cidadã, influenciando assim a Educação Básica para uma possível reestruturação de sua proposta curricular e impactando o sistema atual de admissão em várias instituições de Ensino Superior no país.

Diante disso, podemos verificar, a partir da nossa análise de dados segundo a categorização de Bardin (2011) do conteúdo de Química, que se observa que existem poucas relações a respeito do tema radioatividade com o que se encontra nas propostas de ensino de Química segundo os eixos cognitivos do novo ENEM e da matriz referencial. Essa constatação advém das porcentagens referentes aos conteúdos de Química das palavras-chaves pesquisadas.

É inerente que a estruturação do ENEM deve ser modificada a partir do que se é cobrado na matriz, reconsiderando e dando maior visão a conteúdos pouco cobrados, como o de radioatividade no contexto químico. As perguntas abordadas até então, em grande maioria, passam a visão de que a radioatividade é apenas algo ruim, entretanto, esse conceito deve ser transformado nas escolas, pois com as grandes tecnologias na área de radiação, podemos observar diversos tipos de exames, diagnósticos, tratamentos na área da medicina que demonstram outra visão da radioatividade. Podemos verificar ainda que grande parte dos conteúdos sobre o tema escolhido são das matérias de Física, deixando de lado a incrível relação que existe com a Química que, infelizmente, não é trabalhada no ENEM.

Obviamente que em nossa análise não existem definições precisas a respeito da porcentagem do que se é cobrado, porém, num contexto macro, podemos observar grande diferença de ambas as matérias.

Por fim, podemos inferir que é necessário uma reformulação e desmistificação do conteúdo de radioatividade no que se diz respeito à disciplina de Química, não apenas no componente curricular da disciplina de Física.

REFERÊNCIAS

ALVES, O. L.; GIMENEZ, I. F.; MAZALI, I. O. Por que química nova na escola. **Química Nova na Escola**. São Paulo, n. 2, p. 74-77, 1999.

ARAÚJO, L. A.; GAZINEU, M. H. P.; LEITE, L. F. C. C.; AQUINO, K. A. S. A radioatividade no cotidiano: atividade com educandos do ensino médio.

Experiências em Ensino de ciências, v. 13, n. 4, p. 160-169, 2018. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/66>. Acesso em: 08 dez. 2023.

ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química** : Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente. Bookman Editora, 2018.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 2 ed. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARROS, A. L. L. **Uma Abordagem sobre o Espectro Eletromagnético por meio de Estudos de Caso**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2018.

BRASIL. **Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Diário Oficial da União, Brasília, 23 de dezembro de 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm. Acesso em: 23 mar. 2023.

BRASIL, Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. (2009). **Matriz referencial para enem 2009**. Brasília: INEP/MEC.

BRASIL. Ministério da Educação; Secretaria de Educação Básica; Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão; Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica. Conselho Nacional de Educação; Câmara de Educação Básica. **Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica**. Brasília: MEC; SEB; DICEI, 2013. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=13448-diretrizes-curriculares-nacionais-2013-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 16 out. 2023.

BRASIL. Instituto nacional de estudos e pesquisas educacionais Anísio Teixeira | INEP. **Provas e gabaritos**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 08 mai. 2023.

BREITHAUPT, J. **Física**, 4ª edição. Grupo GEN, 2018. E-book. ISBN 9788521635109. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635109/>. Acesso em: 18 ago. 2023.

BUONOCORE, T. C. C.; OLIVEIRA, A. I. B.; FARIAS, D. S.; MARTINEZ, F. A.; SILVA, G. E.; LEZO, T. C.; ROCHA-LIMA, A. B. C. Energia das radiações: radioatividade natural e artificial, radiações ionizantes e excitantes. **Unisanta BioScience**, v. 8, n. 4, p. 447-457, 2019. Disponível em: <https://periodicos.unisanta.br/index.php/bio/article/view/1969/0>. Acesso em: 17 nov. 2023.

CANTO, E. L. **Química na abordagem do cotidiano 2**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2016. 384p.

CARDOSO, E. M.; ALVES, I. P.; LIMA, J. M. de; TAHUATA, L.; HEIBRON FILHO, P. F.; BRAZ, C.; PESTANA, S. **Radioatividade**. Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN, 2000. Disponível em: https://www.famema.br/famema/ensino/disciplinas/doc/Boletim_n%C2%BA_009_RA_DIOATIVIDADE_CNEN.pdf. Acesso em: 17 nov. 2023.

CHASSOT, A. **Alfabetização Científica: Questões e desafios para a educação**. 3. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2003.

CHASSOT, A. Outro marco zero para uma história da ciência latino-americana. **Química Nova na Escola**, v. 13, p. 34-37, 2001.

COSTA-BEBER, L. B; MALDANER, O. A. Um estudo sobre as características das provas do Novo ENEM: um olhar para as questões que envolvem conhecimentos químicos. **Química Nova na Escola**, v. 37, n.1, p. 44-52, 2015. Disponível em: http://qnesc.sbgq.org.br/online/qnesc37_1/08-EQF-49-13.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

CUNHA, R. B. Noção de cidadania é secundária nas questões de ciências da natureza do ENEM. **Revista de Gestão e Avaliação Educacional**, v. 10, n.19, e64033, 2021. p. 1-22. Disponível em: https://www.academia.edu/download/67435515/artigo_rbcunha_regae_2021.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 2 ed. São Paulo: Cortez, 2007.

DFN. Departamento de Física Nuclear. Instituto de Física da USP. **Fusão Nuclear**. s.d. Disponível em: [https://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/p%C3%A1gina-de-livro/fus%C3%A3o#:~:text=A%20fus%C3%A3o%20nuclear%20%C3%A9%20um,termonucleares%20\(bomba%20de%20hidrog%C3%AAnio\)](https://portal.if.usp.br/fnc/pt-br/p%C3%A1gina-de-livro/fus%C3%A3o#:~:text=A%20fus%C3%A3o%20nuclear%20%C3%A9%20um,termonucleares%20(bomba%20de%20hidrog%C3%AAnio)). Acesso em: 18 out. 2023.

ESTEVES, S. C. B.; OLIVEIRA, A. C. Z.; FEIJÓ, L. F. A. Braquiterapia de alta taxa de dose no Brasil. **Radiologia Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 337-341, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rb/a/pjrCq7HDn6TmZspJd75Cpyn/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 16 nov. 2023.

EXAME NACIONAL DO ENSINO MÉDIO. **Prova de linguagens, códigos e suas tecnologias e redação prova de ciências humanas e suas tecnologias**. Enem 2022. Caderno 1 azul. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de->

atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos. Acesso em: 08 mai. 2023.

FERNANDES, D. R.; JÚNIOR, I. C. S. C.; SILVA, M. P.; ARAUJO, V. O.; SILVA, B. V.; SANTOS, N. P.; REZENDE, M. J. C. Energia Nuclear: Importância, conceitos químicos e estrutura das usinas nucleares. **Revista Virtual de Química**, 2021, 13 (3), 635-649. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v13n3a05.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

FERREIRA, A. M. C. **Energia Nuclear e seus Riscos**. 2011. Disponível em: https://www.crq4.org.br/quimicaviva_energianuclear. Acesso em: 21 ago.2023.

FEYNMAN, R. P. The value of science. **Engineering and Science**, v. 19, n. 3, p. 13-15, 1955. Disponível em: <https://calteches.library.caltech.edu/1575/1/Science.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2023.

FIGUEIREDO, M. C.; SOUZA, A. Jogo Digital e o conceito de aleatoriedade: aplicação e potencialidades para o ensino e a aprendizagem. **Química nova na escola**, v. 43, n° 3, p. 278-286, 2021. Disponível em: http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc43_3/QNESC_43-3_revista_baixa.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Tradução Joice Elias Costa. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FOGAÇA, J. R. V. **Radioatividade artificial**, 2019. Mundo Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/radioatividade-artificial.htm>. Acesso em: 26 maio 2019.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 1. ed., Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2019.

GALLAS, M. R. Unidade 3. **Radioatividade**. 2013. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~marcia/FN_aula2.pdf. Acesso em: 21 ago. 2023.

GIESBRECHET, E. O desenvolvimento do ensino de química (depoimentos). **Estudos avançados**, v. 8, n. 22, p. 115-122, 1994.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. ed. 4 São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, R. W. G. M. Conhecendo a Matriz de Referência do ENEM. **Revista Docentes**, v. 3, n. 6, 2018. Disponível em: <https://revistadocentes.seduc.ce.gov.br/revistadocentes/article/view/2>. Acesso em: 16 nov. 2023.

GOODSON, I. F. **Currículo: teoria e história**. Petrópolis: Vozes, 1999.

GUARIGLIA, C. E.; VIGGIANO, E.; MATTOS, C. Categorias de questões sobre energia no Enem. *In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, 7, **Anais [...]**. Florianópolis, 2009.

HALLIDAY, D., R. R.; WALKER, J. **Ondas eletromagnéticas**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 1988.

HARTWIG, D. R.; DOMINGUES, S. F. Equilíbrio entre os pontos qualitativos e quantitativos no ensino de química. **Química Nova**, Campinas, v. 8, n. 2, p.116-119, 1985.

HELERBROCK, R. **Fissão nuclear**. Brasil Escola. 2019. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/fissao-nuclear.htm>. Acesso em 21 de agosto de 2023.

HERNANDES, J. S.; MARTINS, M. I. Categorização de questões de física do novo Enem. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. 58-83, 2013. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5165881>. Acesso em: 16 nov. 2023.

INEP, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Provas e Gabaritos 2020**. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>. Acesso em: 18 ago. 2023.

KONDER, L. A. M. C. O Ensino de Ciências no Brasil: um breve resgate histórico. **Ciência, ética e cultura na educação**. São Leopoldo: UNISINOS, p. 25-67, 1998.

LEITE, J. G.; ANDRADE, B. F. S.; SOUZA, J. V. A.; DIONOR, G. A.; MARTINS, L. "Radiogan": ensino de radioatividade a partir de um jogo de tabuleiro. **Expressa Extensão**, v. 24, n. 3, p. 107-116, set-dez, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/expressaextensao/article/view/15801>. Acesso em: 16 nov. 2023.

LIBÂNEO, J. C. **Democratização da escola pública: a pedagogia crítica-social dos conteúdos**. 8. ed. São Paulo: Loyola, 1989.

LIMA, J. O. G. Perspectivas de novas metodologias no Ensino de Química. **Revista Espaço Acadêmico**, n° 136, p. 95-101, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jose-Lima-22/publication/253328849_Perspectivas_de_novas_metodologias_no_Ensino_de_Quimica/links/02e7e51f82fa481222000000/Perspectivas-de-novas-metodologias-no-Ensino-de-Quimica.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. **Em Aberto**, v. 5, n. 31, 1986. Disponível em: <http://www.emaberto.inep.gov.br/ojs3/index.php/emaberto/article/download/1971/1710>. Acesso em: 16 nov. 2023.

MACHADO, N. J. **Interdisciplinaridade e contextualização**. In: Ministério da Educação, Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM): fundamentação teórico-metodológica. Brasília: MEC; INEP, 2005. p. 41-53. Disponível em: https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/avaliacoes_e_exames_da_ed

ucacao_basica/enem_exame_nacional_do_ensino_medio_fundamentacao_teorico_metodologica.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

MARTINS, R. A. Investigando o Invisível: As Pesquisas sobre Raios X logo após a sua descoberta por Röntgen. **Revista Brasileira de História da Ciência**, s.l., n.17, p.81-102, 1997

MARTUSCELLI, P. N. De Chernobyl a Fukushima: os impactos dos danos ambientais nos direitos das crianças. **Estudos Internacionais**, v. 3, n. 2, jul-dez, 2015, p. 225-246. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/index.php/estudosinternacionais/article/view/10735>. Acesso em: 16 nov. 2023.

MC LAUGHLIN, J. P. Some characteristics and effects of natural radiation. **Radiation protection dosimetry**, v. 167, n. 1-3, p. 2-7, 2015. Disponível em: <https://academic.oup.com/rpd/article-abstract/167/1-3/2/2375203?login=false>. Acesso em: 16 nov. 2023.

MELQUIADES, F. L.; APPOLONI, C. R. Radioatividade natural em amostras alimentares. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 120-126, 2004. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6444>. Acesso em: 16 nov. 2023.

MERÇON, F.; QUADRAT, S. V. A Radioatividade e a História do Tempo Presente. **Química Nova na Escola**, nº 19, maio 2004. Disponível em: <https://www.comciencia.br/comciencia/index.php?section=8&edicao=116&id=1394&tipo=1>. Acesso em: 16 nov. 2023.

MONTEIRO, P. C. **A experimentação investigativa**: um estudo com licenciandos em Química. 2018. Maringá: Tese (Doutorado em Ensino de Ciências) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=7198502. Acesso em: 16 nov. 2023.

MRS ESTUDOS AMBIENTAIS. **Relatório de Impacto Ambiental - RIMA** da Unidade 3 da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, 2006. Disponível em: http://www.eletronuclear.gov.br/Sociedade-e-MeioAmbiente/Documents/RIMA/04_usinas.html. Acesso: 23 jul. 2020.

MURAT, G. G. **As duas faces da radioatividade: uma sequência de ensino CTSA**. 2020. Monografia (Graduação em Química) – Universidade Federal Fluminense, Instituto de Ciências Exatas, Volta Redonda, 2020. Disponível em: https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/22490/TCC%20Gabriella%20Murat-Alessandra_ACE.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 16 nov. 2023.

NASCIMENTO, F.; FERNANDES, H. L.; MENDONÇA, V. M. O ensino de ciências no Brasil: história, formação de professores e desafios atuais. **Revista histedbr online**, v. 10, n. 39, p. 225-249, 2010. Disponível em:

<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/histedbr/article/view/8639728>. Acesso em: 16 nov. 2023.

NAVARRO, M.V.T., LEITE, H. J. D., **Controle de riscos à saúde em radiodiagnóstico: uma perspectiva histórica**, v.15, n.4, p.1039-1047, out.-dez. Manguinhos, Rio de Janeiro, 2008. Acesso em: <https://www.scielo.br/j/hcsm/a/fhvKsgyHWVWR7pwXsR9CFKM/>. Acesso em: 16 nov. 2023.

OKUNO, E. **Radiação: efeitos, riscos e benefícios**. São Paulo: Editora Harbra, 1988.

PATRÍCIO, M. C. M.; SILVA, V. M. A.; MELO FILHO, A. A. A radioatividade e suas utilidades. **POLÊMIA**, v. 11, n. 2, p. 252-260, 2012. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/3097>. Acesso em: 16 nov. 2023.

PETRIN, N. **Radiação Solar**. 2015. Disponível em: <https://www.estudopratico.com.br/radiacao-solar-insolacao-comprimento-deonda-e-composicao-espectral/>. Acesso em: 18 agosto 2023.

PONTES, A. N.; SERRÃO, C. R. G.; FREITAS, C. K. A.; SANTOS, D. C. P.; BATALHA, S. S. A. O ensino de química no nível médio: um olhar a respeito da motivação. *In*: Encontro Nacional de Ensino de Química, 14. Curitiba, PR, **Anais [...]**, Curitiba, p. 10, 2008.

PROVAS E GABARITOS ENEM. Área de acesso ao Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, **provas e gabaritos de edições anteriores**. Enem 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/enem/provas-e-gabaritos>. Acesso: 22 de out. 2023.

QUEIROZ, C. T.; MOITA, F. M. G. S. C. **Fundamentos sócio-filosóficos da educação**. Campina Grande: UEPB/UFRN, 2007.

RIBEIRO, A. S. N. **Ciências da Natureza e suas Tecnologias: ENEM 2010-2019. 2020**. Monografia (Graduação – Biologia), Universidade Federal do Maranhão, Imperatriz – MA, 2020. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/handle/123456789/5230>. Acesso em: 16 nov. 2023.

SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S.; DIB, S. M. F.; MATSUNAGA, R. T.; SANTOS, S. M. O.; CASTRO, E. N. F.; SILVA, G. S.; FARIAS, S. B. **Química Cidadã** volume 2. 2. ed., São Paulo: AJS, 2013.

SANTOS, W. L. P. ; MORTIMER, E. F. Concepções de professores sobre contextualização social do ensino de química e ciências. **Reunião anual da sociedade brasileira de química**, v. 22, 1999.

SANTOS, W. L. P; SCHNETZLER, R. P. **Educação em Química: compromisso com a cidadania**. 4. ed. Ijuí: Editora Unijuí, 2010.

SAVIANI, D. **História das ideias pedagógicas no Brasil**. 4. ed. Campinas: Autores Associados, 2013

SBMN, Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear. **Conheça a medicina nuclear**. Disponível em: <https://sbmn.org.br/comunicacao/conheca-a-medicina-nuclear/>. Acesso: 23 jul. 2023.

SILVA, A. G. Tendências pedagógicas: perspectivas históricas e reflexões para a educação brasileira. **Unoesc & Ciência** - ACHS Joaçaba, v. 9, n. 1, p. 97-106, jan./jun. 2018. Disponível em: [https://portalidea.com.br/cursos/aperfeiamento-em-docncia-e-prtica-de-ensino-apostila05.pdf](https://portalidea.com.br/cursos/aperfeiramento-em-docncia-e-prtica-de-ensino-apostila05.pdf). Acesso em: 16 nov. 2023.

SILVA, R. M.; AQUINO, K. A. S.; SILVA, S. A. Concepções sobre radioatividade envolvendo a perspectiva ambiental de licenciandos de Química. **Alexandria**, v. 12, n. 1, p. 55-84, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/1982-5153.2019v12n1p55>. Acesso em: 16 nov. 2023.

SILVEIRA, F. L.; BARBOSA, M. C. B.; SILVA, R. Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM): uma análise crítica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, p. 1101, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/TpSdTxpHR3XBgFttPmgmyPF/>. Acesso em: 16 nov. 2023.

SIQUEIRA, A. B. Currículo de ciências: aspectos históricos e perspectivas atuais. **Revista Húmus-ISSN**, v. 2236, p. 4358, 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/233155581.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

SLONIAK, M. A.; QUINALIA, C. L.; DORES, M.; LIRA, S. C. C. Política pública de educação uma análise do enem-exame nacional do ensino médio no Distrito Federal. **Universitas Jus**, v. 24, n. 1, 2013. Disponível em: <https://www.uhumanas.uniceub.br/jus/article/view/2259>. Acesso em: 16 nov. 2023.

SOUZA, R. S. **UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE FÍSICA NUCLEAR NO ENSINO MÉDIO**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf/8082/1/renanschetinodesouza.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

TEIXEIRA, L. H. O. A abordagem tradicional de ensino e suas repercussões sob a percepção de um aluno. **Revista Educação em Foco**, n. 10, p. 93-103, 2018. Disponível em: https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/08/009_A_ABORDAGEM_TRADICIONAL_DE_ENSINO_E_SUAS_REPERCUSS%C3%95ES.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

TIPLER, P. A; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 505p.

VASCONCELOS, F. C. G. C. Aplicações da Radioatividade: concepções de licenciandos em Química a partir de trecho de notícia e rótulo de alimento industrializado. In: NUNES, A. O.; DANTAS, J. M. (Org.) **Educação Química & Licenciatura: propostas e reflexões**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018, p. 81-113.

VIEIRA, S. A. Césio-137, um drama recontado. **Estudos avançados**, v. 27, n.77, 2013, p. 217-233. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/pWxC3bW79km3cRFB83DXX3B/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 nov. 2023.

WARTHA, E. J.; SILVA, E. L.; BEJANARO, N. R. R. Cotidiano e contextualização no ensino de química. **Química nova na escola**, v. 35, n. 2, p. 84-91, 2013. Disponível em: http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc35_2/04-CCD-151-12.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

XAVIER, A. M.; LIMA, A. G.; VIGNA, C. R. M.; VERBI, F. M.; BORTOLETO, G. G.; GORAIEB, K.; COLLINS, C. H.; BUENO, M. I. M. S. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, v. 30, p. 83-91, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/c4djqQXBClfrZNfFNWB7nC/>. Acesso em: 16 nov. 2023.

YOSHIMURA, E. M. Física das Radiações: interação da radiação com a matéria. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 3, n. 1, p. 57-67, 2009. Disponível em: <http://www.rb fm.org.br/rb fm/article/view/35>. Acesso em: 16 nov. 2023.

ZAPATEIRO, G. A. **Formação inicial de licenciandos em Química: uma proposta de situação de estudo para abordar o conteúdo básico de radioatividade**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química) – Departamento de Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR. Londrina, Paraná, 2017. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12352>. Acesso em: 16 nov. 2023.

ZAPATEIRO, G. A. **Formação inicial de professores de química: contribuições de um curso de história da radioatividade**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Humanas, Sociais e da Natureza) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5053>. Acesso em: 07 out. 2023.

ZAPATEIRO, G. A.; FIGUEIREDO, M. C.; ROCHA, Z. F. D. C.; JACINTO, S. Percepção de licenciandos em Química sobre o ensino de Radioatividade a partir da história da Ciência. **Revista Areté | Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, [S.l.], v. 12, n. 26, p. 156 - 167, jan. 2020. ISSN 1984-7505. Disponível em: <http://periodicos.uea.edu.br/index.php/arete/article/view/1670>. Acesso em: 07 out. 2023.

ZAPATEIRO, G. A.; FIGUEIREDO, M. C. Elaboração e aplicação de uma situação de estudo a partir do conteúdo radioatividade: em foco a formação inicial em químicas. **Revista Prática Docente**. v. 5, n. 3, p. 1747-1765, set/dez 2020. Disponível em:

<https://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/rpd/article/view/397>. Acesso em: 16 nov. 2023.

ZAPATEIRO, G. A.; ROCHA, Z. F. D. C.; FIGUEIREDO, M. C. **Radioatividade faz bem? Ou faz mal?** [livro eletrônico]. Rio de Janeiro, RJ: e-Publicar, 2022. Disponível em: <https://www.editorapublicar.com.br/radioatividade-faz-bem-ou-faz-mal>. Acesso em: 07 out. 2023.