



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA – LICENCIATURA**

Ashley Andersson Santos Santana de Jesus

**TERRAS RARAS: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA
DIDÁTICA COM ENFOQUE CTSA PARA O ENSINO DE QUÍMICA**

João Pessoa

2024

Ashley Andersson Santos Santana de Jesus

**TERRAS RARAS: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA
DIDÁTICA COM ENFOQUE CTSA PARA O ENSINO DE QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso, requisito para obtenção do grau de Licenciada em Química, submetido ao curso de Graduação em Química, da Universidade Federal da Paraíba.

Orientadora: Profa. Dra. Karen Cacilda Weber

João Pessoa

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

J58t Jesus, Ashley Andersson Santos Santana de.
Terras raras : uma proposta de sequência didática
com enfoque CTSA para o ensino de química / Ashley
Andersson Santos Santana de Jesus. - João Pessoa, 2024.
56 p. : il.

Orientação: Karen Cacilda Weber.
TCC (Curso de Licenciatura em Química) - UFPB/CCEN.

1. Ensino de química. 2. Elementos terras raras. 3.
Enfoque CTSA. I. Weber, Karen Cacilda. II. Título.

UFPB/CCEN

CDU 54(043.2)

Ashley Andersson Santos Santana de Jesus

**TERRAS RARAS: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA
DIDÁTICA COM ENFOQUE CTSA PARA O ENSINO DE QUÍMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso, requisito para obtenção do grau de Licenciada em Química, submetido ao curso de Graduação em Química, da Universidade Federal da Paraíba.

Data de aprovação: 25/10/2024

Documento assinado digitalmente
 **KAREN CACILDA WEBER**
Data: 31/10/2024 11:02:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Karen Cacilda Weber (DQ/CCEN/UFPB)
Orientadora

Documento assinado digitalmente
 **DAYSE DAS NEVES MOREIRA**
Data: 31/10/2024 11:25:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Dayse das Neves Moreira (DQ/CCEN/UFPB)
Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **RAFAELA BERNARDO PROVAZI PESCI**
Data: 31/10/2024 11:19:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Rafaela Bernardo Provazi Pesci (DQ/CCEN/UFPB)
Examinadora

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Angélica, e ao meu padrasto, Gilvanci, por todo o esforço para que eu tivesse acesso à educação, além de todo amor, dedicação, compreensão e cuidado, fatores determinantes para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje.

Aos meus familiares, sobretudo às minhas tias Vera, Alexandra, Maria Luíza, Carmen, Soraya e Fabiana, por todo o apoio e incentivo.

Aos meus queridos amigos de infância, Igor e Beatriz, pelo incentivo na minha jornada acadêmica, celebração de cada conquista e apoio nos momentos difíceis.

Ao meu amigo William, pelo companheirismo ao longo da graduação, e às minhas amigas, Rita, Emelly e Arina, pelos grupos de estudo e momentos de descontração, que tornaram essa jornada mais leve.

À minha querida amiga, Jacqueline, uma fonte de inspiração como mãe, mulher e cientista, pela constante disponibilidade em ajudar, incentivo e confiança que sempre depositou em mim ao longo dessa jornada.

Aos meus queridos e amados amigos do LCCQS: Paulo, Joaldo, Adrihellen, Jandeilson, Israel, Iana, Ferreira, Clarissa, Felipe, Wellida, Cristiano, Madu, Annaíres, Iran, Renato, Gabriel e Lucas, pela valiosa contribuição científica e momentos de descontração, regados a muito café.

Aos meus queridos amigos do LASOM, Lidiane e Bruno, pela constante prontidão e disposição em ajudar, além dos momentos divertidos no laboratório.

À minha orientadora, Profa. Dra. Karen Cacilda Weber, pela orientação e constante disponibilidade, bem como pelas contribuições essenciais para a concretização deste trabalho.

Ao meu orientador da iniciação científica, Prof. Dr. Ercules Epaminondas de Sousa Teotônio, pela valiosa contribuição na minha formação acadêmica desde o primeiro período da graduação, além da amizade, confiança e dedicação diária.

Aos meus professores da graduação, pela dedicação ao ensino. Em especial, aos professores Rodrigo, Dayse e Cláudio, que me acolheram no LASOM e contribuíram cientificamente para a minha formação.

À Universidade Federal da Paraíba pelo apoio institucional.

Aos órgãos de fomento, Capes e CNPq, pelo apoio financeiro.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

*“Coração de estudante
Há que se cuidar da vida
Há que se cuidar do mundo
Tomar conta da amizade
Alegria e muito sonho
Espalhados no caminho
Verdes planta e sentimento
Folhas, coração, juventude e fé”*

(Milton Nascimento)

*“Corra, não pare, não pense demais
Repare essas velas no cais
Que a vida é cigana
É caravana
É pedra de gelo ao sol...”*

(Geraldo Azevedo e Alceu Valença)

RESUMO

Este trabalho apresenta a elaboração e o desenvolvimento de uma Sequência Didática intitulada “Terras Raras: da subutilização à autonomia tecnológica”, com enfoque CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) para o ensino de Química. A abordagem CTSA, vertente do ensino contextualizado, integra a educação científica, tecnológica, social e ambiental, conforme previsto pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Assim, a partir da problematização do subaproveitamento dos recursos brasileiros devido à falta de políticas estratégicas de gestão, foi possível introduzir o estudo das terras raras na Educação Básica. A Sequência Didática foi aplicada em uma turma do 9º ano do Ensino Fundamental, com 38 estudantes, em uma escola municipal de João Pessoa. A pesquisa, de natureza qualitativa, foi dividida em três etapas: (I) elaboração da Sequência Didática; (II) desenvolvimento em sala de aula; e (III) análise dos dados e discussão dos resultados. Os dados foram coletados por meio de textos dissertativos escritos individualmente pelos estudantes ao final do percurso metodológico e analisados com base na Análise de Conteúdo de Bardin. Durante a sequência de ensino, os estudantes demonstraram autonomia no processo de aprendizagem. A análise das redações indicou conhecimento sobre os elementos terras raras e suas aplicações tecnológicas, além do desenvolvimento da capacidade de debater questões políticas, econômicas e sociais relacionadas ao tema.

Palavras-chave: Ensino de química, Elementos terras raras, Enfoque CTSA.

ABSTRACT

This work presents the development of a Didactic Sequence titled “Rare Earths: from Underutilization to Technological Autonomy,” with a CTSA focus (Science, Technology, Society, and Environment) for teaching Chemistry. The CTSA approach, this form of contextualized teaching, integrate scientific, technological, social, and environmental education, as outlined by the Base Nacional Comum Curricular (BNCC). By addressing the underutilization of Brazilian resources due to a lack of strategic management policies, it was possible to introduce the study of rare earth elements into Basic Education. The Didactic Sequence was implemented with a 9th-grade class of 38 students at a public school in João Pessoa. The qualitative research was conducted in three stages: (I) preparation of the Didactic Sequence, (II) classroom implementation, and (III) data analysis and discussion of the results. Data were collected through individual essay texts written by the students at the end of the methodological process and analyzed using Bardin’s Content Analysis. Throughout the teaching sequence, students demonstrated autonomy in the learning process. The analysis of their essays revealed knowledge of rare earth elements and their technological applications, as well as the development of the ability to discuss political, economic, and social issues related to the topic.

Keywords: Chemistry teaching, Rare earth elements, CTSA Focus.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Questão 2: Você já ouviu falar sobre lantanídeos?.....	31
Gráfico 2 – Questão 3: Identifique qual dos pares de elementos abaixo são terras raras.....	31
Gráfico 3 – Questão 4: De um modo geral, os elementos terras raras são abundantes na natureza?.....	32
Gráfico 4 – Questão 5: De um modo geral, os lantanídeos são abundantes na natureza?.....	32
Gráfico 5 – Questão 6: O que são lantanídeos?.....	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação entre o ensino tradicional de ciências e o ensino de CTS.....	22
Quadro 2 – Atividades desenvolvidas ao longo da sequência didática com estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental II.....	26
Quadro 3 – Hipóteses e objetivos que orientaram as etapas seguintes de análise.....	37
Quadro 4 – Temas e categorias de análise.....	37
Quadro 5 – Descritores da categoria questões relacionadas à ciência e tecnologia.....	38
Quadro 6 – Frases agrupadas na categoria questões relacionadas à ciência e tecnologia.....	38
Quadro 7 – Descritores da categoria questões sociais, econômicas e ambientais.....	40
Quadro 8 – Frases agrupadas na categoria questões sociais, econômicas e ambientais.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACT – Alfabetização em Ciência e Tecnologia
APM – Administração da Produção de Monazita
BNCC – Base Nacional Comum Curricular
CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear
CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade
CTSA – Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
IUPAC – *International Union of Pure and Applied Chemistry*
LCD – *Liquid Crystal Display*
PNLD – Plano Nacional do Livro Didático
RGB – *Red, Green and Blue*
TR – Terras Raras
wLEDs – *White-Light-Emitting Diode*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 Elementos Terras Raras	14
3.1.1 Histórico.....	14
3.1.2 Ocorrência.....	15
3.1.3 As Terras Raras no Brasil.....	17
3.1.4 Aplicações tecnológicas.....	19
3.2 Enfoque em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente	20
3.2.1 Histórico.....	20
3.2.2 O que é o enfoque em CTSA?.....	22
3.2.3 Sequência diática com enfoque CTSA.....	24
4 METODOLOGIA	25
4.1 Tipo da pesquisa.....	25
4.2 Caracterização da escola e dos participantes da pesquisa.....	25
4.3 Planejamento e implementação da sequência didática.....	26
4.4 Instrumento de coleta de dados.....	28
4.5 Análise de conteúdo como percurso metodológico.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 Desenvolvimento da sequência didática: descrição das aulas.....	31
5.2 Análise da produção textual dos estudantes.....	36
5.2.1 Questões relacionadas à ciência e tecnologia.....	38
5.2.2 Questões sociais, econômicas e ambientais.....	40
6 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	46
APÊNDICES	50
APÊNDICE A – PLANEJAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	50
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO	53

1 INTRODUÇÃO

O termo “terras raras” (TR) refere-se a um grupo de 17 elementos quimicamente semelhantes da tabela periódica (Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu)¹. As propriedades ópticas e magnéticas desses elementos lhes asseguram considerável importância tecnológica. Dentre as diversas aplicações das TR, destacam-se os produtos de alta tecnologia, como os magnetos, amplamente utilizados em turbinas para geração de energia eólica², os diodos emissores de luz branca wLEDs (do inglês, *White-Light-Emitting Diode*), empregados no desenvolvimento de lâmpadas com alta eficiência luminosa, baixo consumo de energia e longa vida útil³, e as ligas metálicas, que têm vasta aplicação em baterias recarregáveis para o desenvolvimento de veículos elétricos e híbridos⁴.

Em um cenário global, a China é o país com a maior ocorrência das reservas mundiais de minérios de TR, além de ser responsável pela maior produção do setor. O Brasil, por sua vez, detém a terceira maior reserva, mas sua produção em escala global é ínfima⁵. Considerando a importância desses elementos, tanto pela sua presença no cotidiano quanto pelo potencial brasileiro para a extração, separação, purificação e utilização na confecção de produtos com tecnologia nacional, o ensino de TR na Educação Básica é fundamental. No entanto, de acordo com um estudo recente, que analisou sete obras aprovadas no PNLD (Plano Nacional do Livro Didático) na área de Ciências da Natureza, essa temática surge sem muito protagonismo nos materiais didáticos⁶.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), um documento de caráter normativo que define as aprendizagens essenciais para todos os alunos em cada etapa e modalidade da Educação Básica, orienta que a área de Ciências da Natureza deve contribuir para a construção de conhecimentos contextualizados, integrando Biologia, Física e Química. Além disso, a BNCC prevê que essa área do conhecimento deve capacitar os estudantes a refletir sobre o papel das tecnologias na sociedade atual e suas perspectivas futuras de desenvolvimento tecnológico⁷. Nesse contexto, a temática TR possibilita reflexões sobre esses aspectos e promove o ensino de Química contextualizado, ao articular a ciência com os aspectos históricos, éticos, políticos e socioeconômicos nos quais está inserida.

A abordagem Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), vertente do ensino contextualizado, integra a educação científica, tecnológica, social e ambiental

conforme previsto pela BNCC. Dessa forma, a partir da problematização do subaproveitamento dos recursos brasileiros devido à falta de políticas estratégicas de gestão, é possível introduzir o estudo das TR na Educação Básica com ênfase em CTSA. Esse enfoque visa desenvolver nos estudantes atitudes e valores cidadãos úteis para sua participação nas discussões e na busca de soluções para os problemas da comunidade em que estão inseridos⁸. Portanto, o objetivo deste trabalho é construir e avaliar uma Sequência Didática com enfoque CTSA para o ensino de Química, utilizando como temática os elementos TR.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Propor uma Sequência Didática com enfoque CTSA para o ensino de Química, utilizando como temática os elementos terras raras e sua exploração.

2.2 Objetivos específicos

- Elaborar uma Sequência Didática com enfoque CTSA para o Ensino Fundamental, articulando conceitos químicos relacionados aos elementos terras raras com questões sociocientíficas;
- Aplicar uma Sequência Didática com enfoque CTSA em uma turma do 9º ano;
- Analisar a produção textual dos estudantes sobre os elementos terras raras a fim de identificar as articulações da Sequência Didática com a abordagem CTS com o intuito de informar para promoção do senso crítico e tomada de decisões.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Elementos Terras Raras

3.1.1 Histórico

De acordo com a IUPAC (do inglês, *International Union of Pure and Applied Chemistry*), os elementos químicos conhecidos como terras raras (TR) englobam uma série de metais que vão do lantânio ($Z = 57$) ao lutécio ($Z = 71$), denominados lantanídeos. Além desses, também fazem parte do grupo os metais escândio ($Z = 21$) e ítrio ($Z = 39$), totalizando 17 elementos¹.

É importante destacar que a IUPAC recomenda o uso do termo "*lanthanoids*", em vez de "*lanthanides*", para evitar confusões com a terminação "ide", associada a ânions monoelementares¹. No entanto, essa confusão não ocorre na Língua Portuguesa, tornando preferível o uso do termo clássico "lantanídeo", amplamente difundido na literatura⁹.

A expressão "terras raras" pode parecer, à primeira vista, inadequada para designar esses elementos, uma vez que eles não são nem "terras" nem particularmente "raros". Mesmo os lantanídeos menos abundantes na crosta terrestre (com exceção do promécio que não apresenta isótopos estáveis) como o túlio e o lutécio, são mais abundantes do que elementos como a prata e o bismuto¹⁰. Contudo, essa terminologia revela um pouco da trajetória histórica da química desses elementos.

A descoberta do primeiro elemento TR ocorreu em 1787, quando Carl Axel Arrhenius encontrou um mineral escuro na vila de Ytterby, na Suécia. A análise deste mineral só foi realizada em 1794 por Johan Gadolin, que concluiu tratar-se de uma nova "terra", a qual foi batizada de "itérbia" e posteriormente de "íttria" por Anders Gustaf Ekeberg. Na época, o termo "terra" era usado para descrever elementos químicos extraídos de minerais na forma de óxidos. Posteriormente, entre 1794 e 1907, descobriu-se que a ítria isolada por Gadolin era, na verdade, uma mistura de óxidos de dez elementos químicos: escândio (Sc), ítrio (Y), gadolínio (Gd), térbio (Tb), disprósio (Dy), hólmio (Ho), érbio (Er), túlio (Tm), itérbio (Yb) e lutécio (Lu). Esses elementos são conhecidos como o grupo do ítrio ("terras ítricas")^{9,11}.

As demais TR foram separadas de um mineral diferente, encontrado também na Suécia e conhecido inicialmente como "pedra pesada de Bästnäs", hoje chamada cerita.

Esse mineral foi descoberto por Axel Frederik Cronstedt em 1751, mas sua análise só foi divulgada em 1803 por Martin Heinrich Klaproth e Wilhelm Hisinger, que identificaram nele a "céria". Assim como ocorreu com a ítria, foi demonstrado, cerca de 100 anos após sua descoberta, que a céria também era uma mistura, contendo sete elementos: lantânio (La), cério (Ce), praseodímio (Pr), neodímio (Nd), samário (Sm), európio (Eu) e gadolínio (Gd). Esses elementos são conhecidos como o grupo do cério ("terras céricas")^{9,11}.

O último elemento TR a ser isolado foi o promécio (Pm), em 1947, identificado como subproduto da fissão nuclear do urânio por Marinski. Com isso, o processo de descoberta dos elementos TR se desenrolou ao longo de cerca de 160 anos. Todavia, o domínio eficaz das técnicas de separação desses elementos só foi alcançado na segunda metade do século XX, impulsionado pelos avanços tecnológicos gerados no contexto do Projeto Manhattan⁹.

Nesta época de descoberta das TR, havia grande preocupação entre os químicos sobre como acomodar esses elementos nos sistemas de classificação periódica. Ainda hoje, debates sobre a organização desses elementos na Tabela Periódica persistem. Uma importante consequência histórica, após a inclusão das TR na Tabela Periódica, foi a interpretação de Niels Bohr sobre o preenchimento dos orbitais 4f na série dos lantanídeos. Bohr observou que a ordem dos elementos, baseada em seus números atômicos, correspondia ao preenchimento gradual dos orbitais atômicos¹².

3.1.2 Ocorrência

Os elementos TR ocorrem na natureza sempre em conjunto, devido à semelhança de suas propriedades químicas, encontrando-se associados em rochas e minerais. A predominância do estado de oxidação 3+ entre esses elementos gera diferenças muito sutis na reatividade de seus íons trivalentes (TR³⁺), o que dificulta sua separação e impede que sejam encontrados de forma isolada¹³.

A crosta terrestre é a principal fonte dos elementos TR. Isso se deve ao fato deles apresentarem caráter de ácidos duros, conforme a teoria de Pearson, o que lhes confere alta afinidade por óxidos (como carbonatos, fosfatos e silicatos) e haletos, especialmente fluoretos. Embora esses elementos ocorram em uma grande variedade de minérios, acredita-se que 95% das TR estejam concentradas em três principais: monazita, xenotima e bastnasita¹⁴.

A bastnasita é um fluorcarbonato de TR do grupo do cério, com fórmula [(La,Ce,Nd)CO₃F], sendo o mineral de TR mais abundante na crosta terrestre. Ela contém aproximadamente 70% em massa de TR₂O₃ e, em geral, apresenta baixos níveis de elementos radioativos. A bastnasita é suscetível ao intemperismo químico, durante o qual as TR podem se dissolver e se recombinar com fosfatos presentes no ambiente. Além disso, esse mineral é a principal fonte dos dois maiores depósitos de TR no mundo: Bayan Obo, na China, e Mountain Pass, nos Estados Unidos^{14,15}.

A monazita é um fosfato de TR do grupo do cério, com fórmula [(La,Ce,Nd)PO₄], contendo aproximadamente 70% em massa de TR₂O₃. No entanto, ao contrário da bastnasita, a monazita geralmente possui cerca de 5% em massa de tório e arsênio, além de quantidades variáveis, e nem sempre pequenas, de urânio. A xenotima, por sua vez, é outro fosfato de TR, mas pertencente ao grupo do ítrio, contendo cerca de 67% de TR₂O₃, além de aproximadamente 5% de tório e menores quantidades de urânio. Tanto a monazita quanto a xenotima são minerais de grande estabilidade geológica, não sendo facilmente convertidos em outros minerais^{14,15}.

A formação dos minerais de TR e os efeitos do intemperismo dão origem a diversos processos geológicos, que podem gerar diferentes tipos de depósitos. O tipo mais comum são os depósitos de carbonatitos, formados a partir de rochas ígneas ricas em carbonato. O depósito de Bayan Obo, o mais produtivo do mundo, é um exemplo de depósito carbonatítico. Esses depósitos são geralmente associados à presença de minerais como monazita, bastnasita e apatita^{16,17}.

Outro tipo de depósito de TR são as rochas peralcalinas, que possuem menor concentração de TR em comparação aos carbonatitos, mas apresentam maior abundância de TR do grupo do ítrio, que possuem maior valor comercial. O depósito brasileiro de Pitinga, no Amazonas, é um exemplo promissor de exploração de TR pesadas. Estima-se que esta reserva contenha cerca de 20.000 toneladas de TR₂O₃, com a xenotima sendo o principal mineral presente^{16,17}.

Além dos depósitos mencionados, existem os depósitos de origem sedimentar, que são historicamente relevantes e apresentam altos teores de minerais de TR, principalmente monazita, na forma de areias de praias e depósitos fluviais. Entre 1885 e 1915, o Brasil foi o maior fornecedor mundial de TR, devido à exploração de areias monazíticas, com as atividades iniciadas em Prado, na Bahia. Atualmente, os depósitos sedimentares mais importantes são as argilas de adsorção de íons, cuja extração é mais

fácil e há uma concentração maior de TR do grupo do ítrio. O Brasil possui uma das maiores reservas dessas argilas em Minaçu, Goiás^{14,15}.

3.1.3 As Terras Raras no Brasil

A exploração de TR no Brasil começou em 1885, com a extração da monazita nas praias de Prado. Na época, esses elementos tinham aplicações limitadas, e o principal interesse na exploração da monazita era o tório, utilizado na fabricação de mantas para lampiões a gás. Essas mantas foram desenvolvidas pelo cientista Carl Auer von Welsbach, que mais tarde descobriu que o cério melhorava sua eficiência, aumentando a luminosidade. Em 1913, estima-se que cerca de 3.000 toneladas de monazita brasileira foram usadas na produção dessas mantas, marcando o primeiro uso comercial significativo de TR⁹.

Entre 1885 e 1890, a exploração de monazita no Brasil era realizada de forma ilegal, já que a extração ocorria sem custos, sob o pretexto de que a areia seria utilizada como lastro para navios que traziam mercadorias da Europa e América do Norte. Mesmo nas décadas seguintes, a monazita gerava uma renda muito menor do que outras commodities, como o tabaco na Bahia, sendo vendida por menos de 10 dólares por tonelada. Ainda assim, até 1914 o Brasil permaneceu como o maior exportador de monazita, quando foi superado pela Índia. Posteriormente, com o advento da iluminação elétrica, houve um declínio global na exploração de monazita, uma vez que a demanda industrial de tório e TR foi reduzida¹¹.

A exploração de monazita no Brasil ressurgiu a partir da década de 1940, motivada pelo interesse estratégico das potências mundiais no tório e urânio, especialmente com o avanço do Projeto Manhattan. O Brasil voltou a ser um dos maiores fornecedores de monazita e de TR purificadas, em grande parte graças à iniciativa privada liderada pela empresa ORQUIMA, sob a direção de Pawel Krumholtz^{5,11}.

Em 1948, a ORQUIMA já dominava todas as etapas do processamento da monazita, o que lhe conferiu uma elevada capacidade de produção de TR. Nesse período, a empresa se destacou como o principal produtor de óxido de európio (Eu_2O_3) de alta pureza, chegando a fornecer o material para a fabricação de barras de európio metálico usadas em sistemas de contenção de nêutrons, essenciais para a construção do primeiro submarino nuclear operacional, o Nautilus, em 1955^{11,18}.

Devido ao crescente interesse governamental em tecnologias nucleares que utilizavam tório e, principalmente, urânio como combustíveis, o desenvolvimento das técnicas de processamento de TR de alta pureza pela ORQUIMA foi interrompido. Nesse período, a responsabilidade pelo processamento da monazita passou para a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que adquiriu as instalações da ORQUIMA, renomeando-a como Administração da Produção de Monazita (APM)¹⁸.

Com isso, os esforços voltados ao fracionamento individual das TR foram drasticamente reduzidos, e a APM passou a focar apenas na extração de monazita e na produção de cloretos ou óxidos de TR de baixa pureza. Enquanto o Brasil desacelerava sua produção, a China intensificava seus investimentos no desenvolvimento científico e tecnológico da exploração desses elementos. Assim, quando as TR começaram a ter maior valor agregado, especialmente nas décadas de 1970 e 1980, com aplicações em luminóforos e magnetos, o Brasil já havia perdido sua competitividade no setor¹¹.

Na década de 1990, quase todo o investimento em tecnologia e recursos humanos na área de processamento de minérios e separação de TR foi perdido. As atividades na área foram sendo progressivamente reduzidas até que, entre 2002 e 2005, a produção de TR no Brasil praticamente cessou^{11,18}.

No cenário atual, as TR têm atraído novamente a atenção do governo devido à constatação da vulnerabilidade econômica que a falta desses recursos pode causar. No entanto, o interesse das grandes empresas, como Vale e Petrobrás, na exploração de TR no Brasil ainda é limitado, pois esses minerais representam uma parcela muito pequena do mercado quando comparados aos grandes volumes de mineração de ferro e exploração de petróleo⁵.

Segundo Lapido-Loureiro, diversas regiões do Brasil, como Pitinga (AM), Catalão (GO), Morro do Ferro (MG) e Rio Sapucaí (MG), são consideradas potenciais produtoras de TR devido às suas reservas significativas em volume e alto teor¹⁷. Com essa riqueza natural, o Brasil tem a capacidade não apenas de investir na mineração e no processamento desses elementos, mas também de incorporá-los à cadeia produtiva nacional, agregando valor e garantindo ao país maior autonomia estratégica, especialmente em setores como o refino de petróleo e energia limpa.

Para que isso ocorra, é essencial que corra uma maior articulação entre o setor acadêmico (especialmente nas áreas de química, física, geologia e engenharia de minas) e o setor empresarial, com apoio governamental. Essa colaboração é crucial para que os elementos TR não sejam apenas exportados como commodities, mas também

aproveitados de forma estratégica e integrada à economia nacional, evitando o subaproveitamento deste recurso graças à falta de políticas públicas estratégicas de gestão⁵.

3.1.4 Aplicações tecnológicas

Os elementos TR possuem as mais diversificadas aplicações, que consistem, sobretudo, na exploração das propriedades magnéticas, ópticas e redox desses elementos¹⁹. Como mencionado anteriormente, a primeira aplicação dos elementos TR ocorreu no campo da iluminação, com a fabricação de mantas para lampiões a gás. Welsbach, o químico responsável por essa inovação, descobriu inicialmente que tecidos de algodão embebidos em nitrato ou acetato de tório, após tratamento com vapor de amônia, formavam uma camada de óxidos que intensificava a luminosidade das chamas provenientes da queima de gases. Ao trabalhar com a extração de tório da monazita, ele também percebeu que a adição de cério às soluções de nitrato ou acetato de tório aprimorava ainda mais a eficiência das mantas, aumentando sua luminosidade¹¹.

Ainda no âmbito da iluminação, na década de 1970, a Philips introduziu o primeiro sistema de três cores primárias RGB (do inglês, *Red, Green and Blue*), contendo unicamente compostos de TR para geração de luz branca em lâmpadas fluorescentes compactas. Essas lâmpadas substituíram quase completamente as lâmpadas incandescentes. No entanto, devido a preocupações ambientais relacionadas ao uso de mercúrio, as lâmpadas fluorescentes foram gradualmente substituídas por novos sistemas de excitação, os wLEDs (do inglês *White-Light-Emitting Diodes*), cujo principal wLED comercialmente disponível é revestido por um luminóforo à base de ítrio e cério, $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ (YAG:Ce³⁺)²⁰. Atualmente, os wLEDs são as principais fontes de iluminação residencial. Além da aplicação desses dispositivos em iluminação, eles também são utilizados como luz de fundo para telas, especialmente daquelas baseadas em telas de cristal líquido LCD (do inglês, *Liquid Crystal Display*)¹⁴.

É importante ressaltar que que cerca de 32% do valor total agregado aos elementos TR é proveniente das aplicações relacionadas às suas propriedades luminescentes, que requerem elementos de menor abundância e com elevado grau de pureza. Outra aplicação relevante das TR está na catálise, que representa aproximadamente 20% do volume total consumido desses elementos⁵. As TR são empregadas, por exemplo, como catalisadores no craqueamento de petróleo e na

formulação de sistemas para reduzir emissões poluentes em motores automotivos. O mais significativo dos óxidos de elementos TR em catálise industrial é certamente o óxido de cério, em virtude da sua propriedade de oxi-redução e também baixo custo²¹.

A fabricação de ímãs permanentes é outra área de destaque para as TR. Os ímãs mais comuns no mercado são o SmCo_5 e o $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, sendo este último especialmente eficiente na conversão de energia elétrica em energia mecânica em motores, e o inverso, em geradores. Ele é utilizado, por exemplo, em motores de veículos elétricos e em geradores de turbinas eólicas²². Além dessas aplicações, os magnetos de TR são utilizados em uma variedade de dispositivos, como sensores, microfones, discos rígidos, equipamentos de raios X, máquinas de ressonância magnética, entre outros¹⁰.

Em sistemas biológicos os elementos TR também têm sido extensivamente estudados. Marcadores luminescentes à base desses elementos são amplamente utilizados em pesquisas científicas para a investigação de enzimas, anticorpos, células e hormônios, devido ao baixo custo e à maior especificidade, uma vez que a luminescência pode ser medida rapidamente com alto grau de sensibilidade e exatidão¹⁰.

Além disso, as TR têm outras aplicações importantes, como na fabricação de vidros especiais e na produção de cerâmicas de alta resistência^{19,5}. Dessa forma, fica evidente que as aplicações das TR baseadas em suas propriedades luminescentes, magnéticas e redox possuem uma posição de destaque na sociedade moderna.

3.2 Enfoque em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente

3.2.1 Histórico

O enfoque CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) no ensino de ciências é um movimento que busca alfabetizar os cidadãos em ciência e tecnologia, para que sejam capazes de agir de forma consciente e tomar decisões sobre questões práticas e de relevância social²³. A formulação desses currículos emergiu na segunda metade do século XX, nos países do Hemisfério Norte, como resposta ao agravamento dos problemas ambientais no período pós-guerra. Questões éticas atreladas à ciência, a preocupação com a qualidade de vida nas sociedades industrializadas e a demanda por maior participação popular nas decisões públicas criaram as condições para o surgimento do enfoque CTS na educação²⁴.

No Brasil, esse movimento começou a se desenvolver a partir da década de 1960, quando os currículos de ciências passaram a considerar a ciência como produto do contexto econômico, político e social. Já década de 1980, o ensino de ciências se direcionou para a análise das implicações sociais decorrentes do avanço científico e tecnológico. Como consequência, diversos materiais didáticos e projetos curriculares foram elaborados no país, incorporando os princípios CTS. Um destaque importante foi a “Conferência Internacional sobre Ensino de Ciências para o Século XXI: ACT — Alfabetização em Ciência e Tecnologia”, realizada em 1990, na qual pesquisadores do Brasil e de outros países apresentaram trabalhos sobre o ensino de ciências e a integração da temática CTS²⁵.

Santos e Mortimer defendem o currículo com ênfase em CTS no Brasil, mas ressaltam que a alfabetização científica e tecnológica não deve se limitar a enaltecer as maravilhas da ciência, nem pressupor que todos os problemas da humanidade podem ser resolvidos por ela, como se o conhecimento científico estivesse isento de influências políticas, econômicas, éticas e sociais. Para esses autores, a proposta curricular CTS deve, portanto, integrar a educação científica, tecnológica e social aos aspectos históricos, éticos, políticos e socioeconômicos em que está inserida, visando à formação de indivíduos conscientes de seu papel como participantes ativos nas tomadas de decisões em questões relacionadas à ciência e à tecnologia²⁵.

Com a crescente popularização do enfoque CTS, surgiram novas vertentes dentro desse campo. A dimensão ambiental passou a ganhar maior destaque nas discussões sobre CTS. Com esse novo foco, alguns pesquisadores acrescentaram a letra "A" (de ambiente) à sigla, resultando em CTSA²⁶. Essa alteração reflete tanto a crescente importância das questões socioambientais quanto o desafio de integrá-las ao enfoque CTS, especialmente em resposta aos problemas ambientais gerados pelo modelo capitalista de produção da nossa sociedade. Embora, em sua essência, o movimento CTS já abarcasse a dimensão ambiental, as discussões nem sempre priorizavam essa questão, o que motivou o surgimento do movimento CTSA para reforçar o papel da Educação Ambiental dentro da abordagem original de CTS²⁷.

Apesar dessa distinção teórica entre CTS e CTSA, que se baseia na ênfase da educação ambiental como parte do currículo, no campo da pesquisa essas abordagens ainda compartilham muitas semelhanças. Assim, não há um consenso definido sobre a natureza dessas abordagens, no que diz respeito a serem excludentes ou não²⁸. De toda forma, para Santos, tanto o movimento CTS quanto o CTSA compartilham o objetivo

comum de desenvolver valores que priorizem o bem-estar coletivo e as necessidades humanas, em oposição à ordem capitalista, que coloca os interesses econômicos acima de todos os outros.²⁷.

3.2.2 O que é o enfoque em CTSA?

Com o objetivo de caracterizar o ensino com enfoque CTS, Santos e Schnetzler realizaram uma comparação com o ensino tradicional de Ciências (Quadro 1). Eles observaram que, enquanto o ensino CTS é centrado em temas sociais, no desenvolvimento de uma atitude crítica e por uma concepção de ciência voltada para o interesse social, o ensino tradicional se caracteriza por uma organização curricular conteudista, que valoriza a ciência por seu valor em si mesma, independentemente de suas aplicações sociais²⁹.

Quadro 1 – Comparação entre o ensino tradicional de ciências e o ensino de CTS.

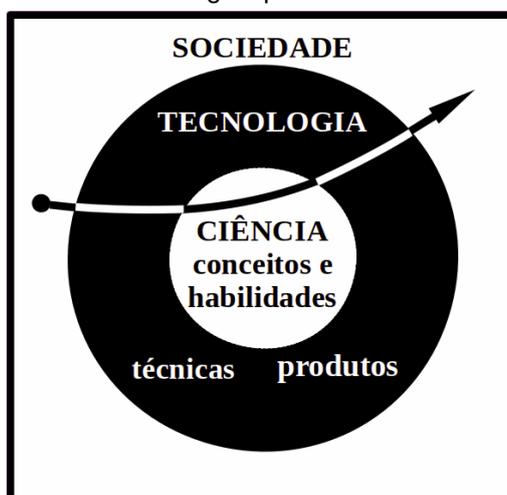
Ensino Tradicional de ciência	Ensino de CTS
1. Organização conceitual da matéria a ser estudada (conceitos de física, química, biologia).	1. Organização da matéria em temas tecnológicos e sociais.
2. Investigação, observação, experimentação, coleta de dados e descoberta como método científico.	2. Potencialidades e limitações da tecnologia no que diz respeito ao bem comum.
3. Ciência, um conjunto de princípios, um modo de explicar o universo, com uma série de conceitos e esquemas conceituais interligados.	3. Exploração, uso e decisões são submetidas a julgamento de valor.
4. Busca da verdade científica sem perder a praticabilidade e a aplicabilidade.	4. Prevenção de consequências a longo prazo.
5. Ciência como um processo, uma atividade universal, um corpo de conhecimento.	5. Desenvolvimento tecnológico, embora impossível sem a ciência, depende mais das decisões humanas deliberadas.
6. Ênfase à teoria para articulá-la com a prática.	6. Ênfase à prática para chegar à teoria.
7. Lida com fenômenos isolados, usualmente do ponto de vista disciplinar, análise dos fatos, exata e imparcial.	7. Lida com problemas verdadeiros no seu contexto real (abordagem interdisciplinar).
8. Busca, principalmente, novos conhecimentos para a compreensão do mundo natural, um espírito caracterizado pela ânsia de conhecer e compreender.	8. Busca principalmente implicações sociais dos problemas tecnológicos; tecnologia para a ação social.

Fonte: Adaptado de Zoller e Watson (tradução nossa)³⁰.

Embora o ensino com foco em CTS se diferencie por abordar temas sociocientíficos, pode-se constatar que eles possuem uma estrutura característica. Aikenhead propôs um modelo metodológico para o ensino com base na perspectiva CTS

(Figura 1) sugerindo que, ao contextualizar o objeto de estudo, surgem naturalmente questionamentos que correlacionam conhecimentos das três áreas principais: Ciência, Tecnologia e Sociedade. Assim, a abordagem parte da sociedade, passa pelo conhecimento científico e tecnológico e retorna para a sociedade.³¹

Figura 1 – Modelo metodológico para o ensino com enfoque CTS.



Fonte: Adaptado de Aikenhead (tradução nossa)³¹.

Nesse modelo, ele recomenda que o objeto de estudo seja introduzido por meio de uma questão de interesse social vinculada a conhecimentos científicos e tecnológicos. Dessa forma, os conteúdos de ciências são abordados com o objetivo de proporcionar uma compreensão mais aprofundada da tecnologia envolvida. Quando a questão de interesse social é revisitada, ela se fundamenta nos conhecimentos científicos recém-adquiridos. Dessa maneira, o estudante torna-se capaz de apontar soluções e tomar decisões sobre a questão sócio-científica tratada³¹.

Santos e Mortimer defendem que o modelo metodológico de Aikenhead promove o desenvolvimento da capacidade de tomada de decisão, essencial para a participação em uma sociedade democrática. Eles sugerem que os temas sociais sejam introduzidos por meio de problemas concretos, cujas soluções possam ser discutidas e propostas pelos alunos após o estudo do conteúdo científico, suas aplicações tecnológicas e a análise das consequências sociais²⁹. Além disso, recomendam o uso de diversas metodologias para o ensino de CTS, como estudo de caso, resolução de problemas, debates, entre outras atividades, que podem ser realizadas em grupo, com foco na participação ativa dos estudantes²⁵.

3.2.3 Sequência Didática com enfoque CTSA

Uma Sequência Didática pode ser definida como um conjunto de momentos interligados, planejados para abordar um tema que articula conceitos de uma área específica do conhecimento com a realidade dos estudantes. Segundo Zabala, trata-se de "um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecido tanto pelo professor como pelos alunos"³².

O planejamento de uma Sequência Didática deve ser realizado com cuidado, abrangendo a definição dos objetivos de ensino, a descrição detalhada das atividades a serem desenvolvidas, a distribuição adequada do tempo para cada etapa, a definição das atividades avaliativas e dos critérios de avaliação, além da seleção criteriosa das referências e dos recursos didáticos a serem utilizados³².

Melo, Santos e Araújo realizaram uma revisão bibliográfica com o objetivo de analisar a construção das Sequências Didáticas voltadas ao Ensino de Química para o Ensino Médio. Os autores observaram que a maioria das sequências de ensino leva em consideração os conhecimentos prévios dos estudantes, os quais são destacados como elementos essenciais para promover um ensino significativo e de qualidade. As sequências também utilizam um tema gerador e uma abordagem contextualizada e interdisciplinar. Os resultados desse trabalho de revisão indicaram que as Sequências Didáticas favorecem o aprendizado e despertam o interesse dos estudantes³³.

Dessa forma, uma Sequência Didática elaborada com base no referencial teórico do enfoque CTSA pode contribuir para promover o ensino contextualizado de Química. Com essa abordagem, De Faria desenvolveu e implementou em uma turma do 1º ano do Ensino Médio uma Sequência Didática intitulada "A luz dos Elementos Terras Raras". Nesse trabalho, a pesquisadora utilizou a mineração como questão sociocientífica para explorar conteúdos como tabela periódica, classificação dos elementos químicos, distribuição eletrônica e funções inorgânicas. Inspirado nesse estudo, foi desenvolvida uma nova Sequência Didática para uma turma do 9º ano do Ensino Fundamental, com foco na classificação periódica dos elementos de terras raras e na participação do Brasil na exploração desses elementos³⁴.

4 METODOLOGIA

4.1 Tipo da pesquisa

Trata-se de uma pesquisa com abordagem qualitativa, desenvolvida a partir da criação e avaliação de uma Sequência Didática com enfoque CTSA. No enfoque qualitativo, é possível desenvolver perguntas e hipóteses antes, durante e após a coleta e análise dos dados, diferentemente dos estudos quantitativos, em que a formulação clara das perguntas de pesquisa e hipóteses ocorre antes desses processos. O enfoque qualitativo, geralmente, auxilia na descoberta das perguntas de pesquisa mais relevantes e, posteriormente, no aprimoramento e na busca de respostas para elas³⁵.

De acordo com Faria e Camargo, a pesquisa qualitativa tem grande relevância para o avanço do conhecimento científico. O pesquisador não apenas busca entender o estado atual do conhecimento sobre o tema em estudo, mas também avalia afirmações e observações feitas por outros pesquisadores, utilizando a literatura como referência para validar e aprofundar sua compreensão do contexto. Além disso, essa abordagem permite ao pesquisador identificar lacunas no conhecimento existente, evidenciando áreas que necessitam de investigação adicional, contribuindo para o desenvolvimento de novas perguntas de pesquisa ou direções para estudos futuros³⁸.

4.2 Caracterização da escola e dos participantes da pesquisa

Esta pesquisa foi realizada em uma Escola Municipal de Ensino Fundamental (EMEF) localizada em João Pessoa – PB, que funciona em período integral e atende aos anos iniciais e finais. Em relação à sua estrutura organizacional, a escola possui: 1 sala para a direção, 1 secretaria, 1 sala de atendimento educacional especializado, 1 sala para os professores, 1 sala de arquivo, 1 banheiro para funcionários e professores, 1 sala de vídeo, 10 salas de aula, 1 biblioteca, 1 laboratório de informática, 1 quadra poliesportiva, 1 despensa, 1 cozinha, 1 refeitório, 2 banheiros para os estudantes (um feminino e outro masculino) e 3 almoxarifados.

Esta pesquisa foi conduzida em uma turma do 9º ano, composta por uma professora de ciências, licenciada em Ciências Biológicas por uma instituição pública federal, e 38 estudantes com idades entre 14 e 15 anos. Os encontros ocorreram no turno da manhã, às quartas, quintas e sextas-feiras, na sala de aula.

4.3 Planejamento e implementação da sequência didática

A Sequência Didática (APÊNDICE A) foi elaborada com base no enfoque CTSA, visando integrar os aspectos científicos, tecnológicos, sociais e ambientais de forma contextualizada. A temática sociocientífica escolhida foi o subaproveitamento dos recursos naturais brasileiros, decorrente da ausência de políticas estratégicas de gestão. A tecnologia associada a essa questão foi a aplicação industrial dos elementos TR. O conteúdo científico abordado foi a classificação periódica desses elementos. A questão ambiental discutida concentrou-se nos impactos da exploração e do uso dos elementos TR, ressaltando a importância de políticas sustentáveis para a gestão dos recursos naturais e a minimização dos danos ao meio ambiente. Esta sequência de ensino demandou 6 encontros durante o período de 3 semanas. O Quadro 2 resume quais foram as atividades realizadas.

Quadro 2 – Atividades desenvolvidas ao longo da sequência didática com estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental II.

Organização do conhecimento	Atividade	Quantidade de aulas
1º Momento	Sondagem dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre a temática TR por meio de um questionário diagnóstico.	1 aula
2º Momento	Aula expositiva para a apresentação do histórico e ocorrência dos elementos TR.	1 aula
3º Momento	Roda de conversa com apresentação dos estudantes sobre as aplicações das TR no cotidiano e discussão sobre a relevância desses elementos na sociedade moderna; Aula expositiva diálogada sobre a história da exploração de TR no Brasil e os tipos de minérios mais comuns para obtenção de TR.	2 aulas
4º Momento	Apresentação dos estudantes sobre os impactos ambientais da exploração de elementos TR, seguida da discussão sobre estratégias sustentáveis atreladas ao uso tecnológico de TR.	1 aula
5º Momento	Debate sobre o porquê do Brasil não agregar valor aos elementos TR.	1 aula
6º Momento	Escrita de um texto argumentativo respondendo a seguinte pergunta: como o Brasil pode aproveitar	2 aulas

	melhor as suas reservas de terras raras, considerando os desafios econômicos, tecnológicos e ambientais?	
--	--	--

Fonte: Elaborado pelo autor.

No primeiro momento, foi realizada uma sondagem dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre os elementos TR. Para isso, foi utilizado um questionário construído com o auxílio da plataforma Plickers³⁷, cujas perguntas estão apresentadas no APÊNDICE B. Após a sondagem, os relatos dos estudantes foram organizados, o que permitiu preparar e ajustar as aulas seguintes de acordo com o nível de compreensão demonstrado por eles.

No segundo momento, foi ministrada uma aula expositiva para apresentar o histórico e a ocorrência dos elementos TR. Ao final da aula, foi proposta uma atividade em grupo, a ser entregue na aula seguinte. A atividade consistia em realizar uma pesquisa sobre as aplicações luminescentes e magnéticas dos elementos TR. Cada grupo de estudantes escolheu um elemento específico e elaborou uma cartilha criativa, destacando as principais informações sobre o elemento e suas aplicações no cotidiano.

No terceiro momento, a turma foi organizada em uma roda e os estudantes apresentaram a cartilha que haviam construído sobre as aplicações das TR no cotidiano. Em seguida, foi ministrada uma aula expositiva dialogada sobre a história da exploração de TR no Brasil e os tipos de minérios mais comuns para sua obtenção. Ao final da aula, foi proposta outra atividade em grupo, a ser apresentada na aula seguinte, que consistia em uma pesquisa sobre os impactos ambientais associados à extração e ao processamento das TR. Cada grupo escolheu um minério diferente (monazita, xenotima ou bastnasita) e preparou uma apresentação abordando os impactos da exploração das TR a partir desse minério.

No quarto momento, os estudantes apresentaram o que pesquisaram sobre os impactos ambientais da exploração dos elementos TR. A partir dessas apresentações, foi possível promover uma discussão sobre estratégias de sustentabilidade, relacionadas ao uso tecnológico das TR. Em seguida, foi proposta uma nova atividade, na qual os estudantes deveriam escolher um dos seguintes temas para pesquisar: (1) inovação tecnológica relacionada às TR, (2) potencial brasileiro para exportação de TR, ou (3) demanda mundial por TR. Eles registraram por escrito o resultado de suas pesquisas e se prepararam para um debate sobre os temas escolhidos.

No quinto momento, foi realizado um debate sobre o subaproveitamento das TR no Brasil, orientado pela seguinte pergunta: “Por que o Brasil não agrega valor aos elementos TR?”. Cada grupo de estudantes teve 10 minutos para preparar um discurso, respondendo a essa questão com base no tema que haviam pesquisado na aula anterior.

No sexto e último momento, os estudantes escreveram um texto argumentativo respondendo à pergunta: “Como o Brasil pode aproveitar melhor as suas reservas de terras raras, considerando os desafios econômicos, tecnológicos e ambientais?”. Para essa atividade, foram distribuídos textos motivadores e apresentados os critérios de avaliação.

O instrumento de avaliação da aprendizagem utilizado nesta Sequência Didática foi composto pelas atividades sugeridas ao longo do percurso metodológico. A avaliação seguiu uma perspectiva formativa, considerando os seguintes critérios: 1. Comprometimento com as atividades propostas: assiduidade dos estudantes nas aulas e empenho na realização das tarefas; 2. Clareza e organização: capacidade dos estudantes de apresentar suas ideias de maneira lógica e bem estruturada; 3. Criatividade: originalidade na execução das atividades lúdicas e na forma de comunicar suas ideias; e 4. Precisão científica: coerência científica e domínio da Norma Padrão da Língua Portuguesa.

4.5 Instrumento de coleta de dados

De acordo com Gil, a coleta de dados requer atenção especial, pois é uma etapa crucial para o desenvolvimento de uma pesquisa, abrangendo desde sua formulação até a análise dos resultados³⁸. O instrumento de coleta de dados desta pesquisa foi o texto escrito dissertativo individual entregue pelos participantes ao final do percurso metodológico.

4.6 Análise de conteúdo como percurso metodológico

A análise das produções textuais que fizeram parte do percurso metodológico proposto aos participantes, ao longo do desenvolvimento da Sequência Didática, foi realizada com base nos princípios da Análise de Conteúdo de Bardin sem a identificação dos estudantes³⁹. Em diversas pesquisas da área de ensino, a Análise de Conteúdo de

Bardin é empregada para análises qualitativas e mistas, devido à sua capacidade de explorar o campo das comunicações³⁹. Berelson define a análise de conteúdo como:

uma técnica de investigação que, através de uma descrição objetiva, sistemática e quantitativa do conteúdo manifesto das comunicações, tem por finalidade a interpretação destas mesmas comunicações⁴⁰.

A análise de conteúdo desenvolve-se em três fases: 1. Pré-análise; 2. Exploração do material; e 3. Tratamento dos dados, inferência e interpretação³⁹.

A pré-análise é a fase de organização que busca sistematizar as ideias iniciais e delinear um caminho claro para o desenvolvimento do plano de análise. Essa fase compreende três tarefas principais: a seleção dos documentos a serem analisados, a formulação de hipóteses e a criação de indicadores que fundamentem a interpretação final do material. Ela se divide em cinco etapas:

- (a) Leitura flutuante: O primeiro contato com o material a ser analisado e oferece as impressões iniciais e orientações para a análise;
- (b) Seleção dos documentos: Os documentos são selecionados com base nos objetivos da pesquisa, seguindo quatro regras:
 - i. Exaustividade: Devem ser incluídos todos os documentos que atendem aos critérios de seleção;
 - ii. Representatividade: A amostra deve ser representativa do universo de estudo;
 - iii. Homogeneidade: Os documentos devem ser selecionados de acordo com o mesmo critério;
 - iv. Pertinência: A adequação do documento deve estar alinhada com os objetivos da pesquisa.
- (c) Formulação de hipóteses e objetivos: Nessa etapa, a leitura flutuante é revisitada para direcionar a análise, refinando os objetivos e as hipóteses;
- (d) Identificação de índices e elaboração de indicadores: Os índices são unidades significativas do material (palavras, frases ou temas), e os indicadores são critérios que transformam os dados brutos em informações aptas para serem analisadas de maneira objetiva.

(e) Preparação do material: A etapa final da pré-análise, que consiste em preparar o material para a análise propriamente dita, como transcrição de textos e discursos, anotações, entre outros³⁹.

Nesta pesquisa, como o corpus documental era pequeno, não foi necessária a seleção de documentos; assim, todo o material disponível foi analisado. Utilizou-se o tema como índice e optou-se pela análise temática de natureza qualitativa, com o objetivo de compreender a ocorrência de determinados temas e seu significado para os participantes.

Após a conclusão da pré-análise, a próxima fase é a exploração do material, que costuma ser longa e exaustiva. O objetivo dessa fase é organizar de forma sistemática as decisões tomadas anteriormente. Ela se concentra principalmente nas tarefas de codificação, que envolvem: o recorte (definição das unidades de análise), a enumeração (seleção das regras de contagem) e a classificação (definição das categorias)³⁹.

Nesta pesquisa, o tema foi utilizado como unidade de análise, sem a aplicação de uma análise quantitativa baseada em regras de contagem. Vale destacar que, segundo Bardin, o tema é uma unidade significativa do texto para o pesquisador, podendo ser uma frase, expressão, afirmação ou apenas uma alusão a uma ideia, escolhida de acordo com os objetivos da pesquisa e em consonância com o referencial teórico adotado³⁹.

A última fase é o tratamento dos dados, a inferência e a interpretação, momento em que os dados brutos ganham significado e o pesquisador pode apresentar sua análise crítica e reflexiva. É comum organizar as informações em tabelas, gráficos ou diagramas, facilitando a visualização e permitindo novas interpretações. Nessa etapa, os resultados são analisados com o objetivo de atribuir valor e aprofundar a compreensão dos dados³⁹.

Diante do exposto, o método de análise de conteúdo utilizado para análise do texto argumentativo escrito pelos estudantes compreendeu as seguintes etapas:

1. Leitura flutuante do texto argumentativo escrito pelos estudantes;
2. Formulação das hipóteses e objetivos de análise
3. Seleção dos temas para análise temática qualitativa
4. Recorte dos textos (palavras, frases, parágrafos), agrupando-os quando comparáveis e com o mesmo conteúdo semântico;
5. Diferenciação de categorias;
6. Inferência e interpretação, respaldadas no referencial teórico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

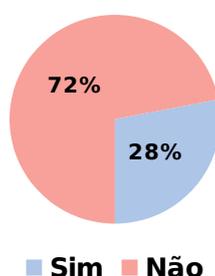
5.1 Desenvolvimento da sequência didática: descrição das aulas

1º momento – Sondagem dos conhecimentos prévios dos estudantes

O questionário diagnóstico utilizado para sondar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os elementos TR revelou que 100% deles nunca haviam ouvido falar sobre esse tema. Por outro lado, 28% relataram já ter ouvido falar sobre lantanídeos (Gráfico 1) e, ao serem solicitados a identificar pares de elementos que pertencem aos elementos TR, 44% selecionaram a alternativa correta (Gráfico 2).

Gráfico 1 – Questão 2: Você já ouviu falar sobre lantanídeos?

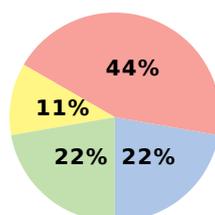
Você já ouviu falar sobre lantanídeos?



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 2 – Questão 3: Identifique qual dos pares de elementos abaixo são terras raras.

Identifique qual dos pares de elementos abaixo são terras raras:



■ O e Tb ■ Sc e Eu ■ N e C ■ Na e Cl

Fonte: Elaborado pelo autor.

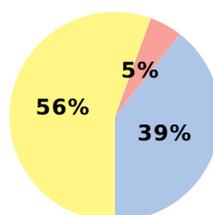
Esses dados sugerem que a temática das terras raras é pouco conhecida pelos estudantes. O fato de 44% deles terem identificado corretamente os pares de elementos terras raras pode estar relacionado ao conhecimento prévio sobre outros elementos e à

escolha correta por exclusão. Embora os estudantes desconheçam a classe das terras raras como um todo, muitos demonstraram já ter ouvido falar dos lantanídeos. Isso pode ocorrer porque, apesar de as terras raras – que incluem o escândio, o ítrio e os lantanídeos – nem sempre serem destacadas nos livros didáticos⁶, os lantanídeos costumam ser apresentados como uma categoria específica na Tabela Periódica. Esse destaque pode explicar por que parte dos estudantes possui alguma noção sobre os lantanídeos, mas não sobre as terras raras como um grupo mais amplo.

As questões relacionadas à abundância dos elementos TR indicam uma possível confusão sobre sua disponibilidade. Por exemplo, 56% dos estudantes afirmaram não saber se os elementos TR são abundantes na natureza (Gráfico 3), enquanto 41% responderam que os lantanídeos são abundantes (Gráfico 4).

Gráfico 3 – Questão 4: De um modo geral, os elementos terras raras são abundantes na natureza?

De um modo geral, os elementos terras raras são abundantes na natureza?

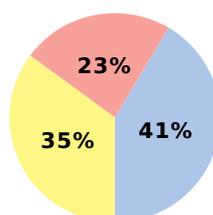


■ Sim ■ Não ■ Não sei

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 4 – Questão 5: De um modo geral, os lantanídeos são abundantes na natureza?

De um modo geral, os lantanídeos são abundantes na natureza?



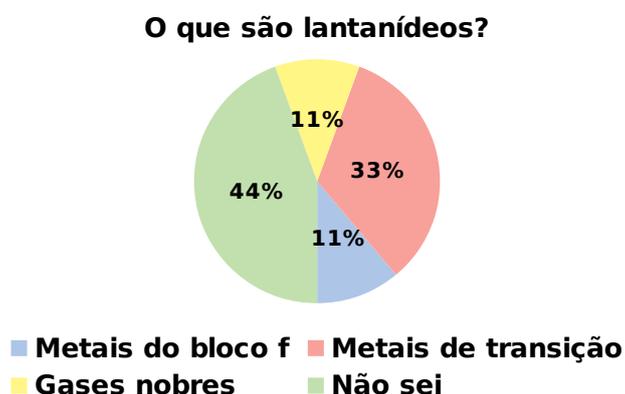
■ Sim ■ Não ■ Não sei

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses resultados indicam que os estudantes possuem algum conhecimento sobre os lantanídeos, mas desconhecem que eles fazem parte do grupo dos elementos TR. Além disso, os 44% dos estudantes que responderam sobre a abundância desses elementos, mesmo afirmando na primeira questão que não sabiam o que são, provavelmente fizeram essa escolha de forma aleatória.

A questão sobre a definição dos lantanídeos revelou uma confusão significativa entre os alunos: 45% afirmaram não saber, 33% indicaram erroneamente que são metais de transição, e apenas 11% acertaram que se tratam de elementos do bloco f da tabela periódica (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Questão 6: O que são lantanídeos?



Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa dificuldade em identificar corretamente os lantanídeos reflete a ênfase tradicional no ensino dos blocos s e p. A alta porcentagem de respostas incorretas e de estudantes que não souberam responder destaca a necessidade de ensinar as propriedades dos elementos TR, reforçando sua importância tecnológica e econômica.

Com base nesses resultados, podemos concluir que, embora os estudantes possuam algum conhecimento prévio, suas concepções são fragmentadas e, em alguns casos, incorretas. Isso justifica a necessidade de uma abordagem pedagógica mais estruturada e contextualizada sobre essa temática. Portanto, este primeiro momento serviu como um guia para as etapas posteriores, que prosseguiram levando em consideração essas lacunas de conhecimento, permitindo o desenvolvimento de atividades mais direcionadas e eficazes para promover uma compreensão mais sólida acerca dos elementos TR.

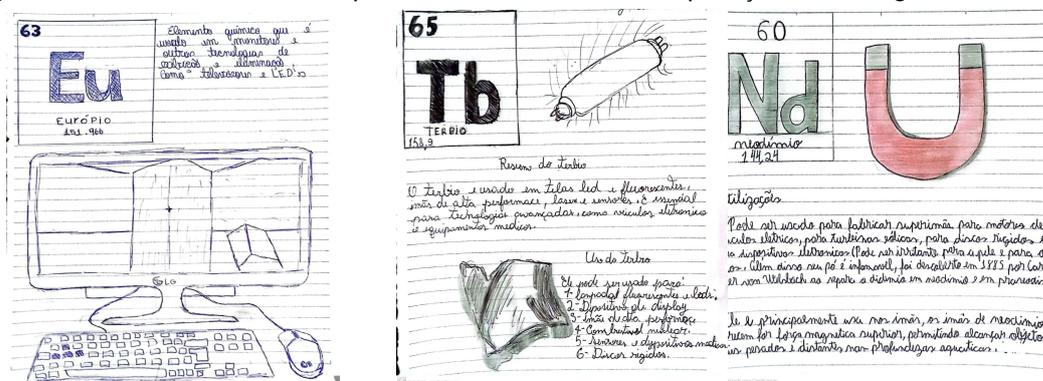
2º momento – Aula expositiva sobre o histórico e a ocorrência dos elementos TR na natureza

Nesta aula, os elementos TR foram apresentados e localizados na Tabela Periódica. Os estudantes reconheceram a série dos lantanídeos, mas afirmaram desconhecer como esses elementos ocorrem na natureza. Em seguida, foi explicado que as TR estão presentes em diferentes tipos de minérios, como a monazita, xenotima e bastnasita, e foram mencionados os países que se destacam na exploração desses elementos. Além disso, foram discutidas aplicações tecnológicas contemporâneas, destacando a relevância dos elementos TR para o cotidiano e a economia global.

3º momento – Apresentação dos estudantes sobre as aplicações das TR no cotidiano e aula expositiva dialogada sobre a relação desses elementos com o Brasil

A turma foi organizada em um grande círculo e os estudantes apresentaram a cartilha que haviam construído sobre as aplicações das TR no cotidiano. Com essa atividade, os estudantes foram incentivados a refletir sobre a relevância econômica e tecnológica desses elementos, compreendendo não apenas sua aplicação prática, mas também a importância desses recursos para o desenvolvimento global. Na Figura 2 estão apresentadas algumas das cartilhas elaboradas.

Figura 2 – Cartilhas elaboradas pelos estudantes sobre as aplicações tecnológicas das terras raras.



Fonte: elaborada pelo autor.

Após essa primeira etapa, foi apresentada uma linha do tempo ilustrativa, detalhando a história da exploração dos elementos TR no Brasil. A linha do tempo destacou marcos importantes, como as primeiras descobertas de jazidas de monazita no

final do século XIX e o papel do país durante a Segunda Guerra Mundial, quando a monazita brasileira começou a despertar o interesse internacional. Também foram abordadas as mudanças nas políticas econômicas ao longo das décadas, assim como os desafios enfrentados pelo Brasil para consolidar uma cadeia produtiva integrada, desde a extração até o processamento dos minérios. Durante a aula, foi enfatizado que, apesar de o Brasil estar entre os maiores detentores de reservas de TR no mundo, esse potencial ainda é subaproveitado. Em contraste, a China se destaca como líder global na produção e comercialização desses elementos.

Dessa forma, esse momento possibilitou discussões sobre a importância de investir em pesquisa e inovação tecnológica para incentivar a produção nacional de tecnologia. Essa aula ajudou os estudantes a conectar o contexto histórico com os desafios atuais, promovendo uma visão crítica sobre as oportunidades e limitações do Brasil no mercado global de TR.

4º momento – Apresentação dos estudantes sobre os impactos ambientais da exploração dos elementos TR

Novamente a turma foi organizada em um grande círculo e os estudantes realizaram uma apresentação sobre os impactos ambientais da exploração dos elementos TR, destacando questões como a degradação do solo, a contaminação de recursos hídricos, a emissão de resíduos tóxicos e as reservas de TR localizadas em áreas de preservação de povos originários.

As apresentações geraram uma discussão sobre os desafios e a necessidade de equilibrar a exploração desses recursos com a preservação ambiental. Os estudantes foram incentivados a refletir sobre como a falta de controle ambiental pode comprometer tanto o meio ambiente quanto a saúde pública. Para ilustrar essa reflexão, foram mencionados desastres causados por mineradoras, como os de Mariana e Brumadinho, evidenciando as consequências socioambientais de práticas irresponsáveis na mineração.

Essa dinâmica permitiu que os estudantes integrassem conhecimentos científicos e socioambientais, compreendendo que o uso das TR deve ser guiado por uma visão sustentável e estratégica, alinhada aos desafios contemporâneos do desenvolvimento global.

5º momento – Debate sobre o subaproveitamento das TR no Brasil

Neste momento, foi realizado um debate na sala sobre o subaproveitamento dos elementos de terras raras (TR) no Brasil, orientado pela pergunta: “Por que o Brasil não agrega valor aos elementos TR?”. Durante a discussão, foram resgatados os tópicos abordados na aula anterior sobre os impactos ambientais que podem ser causados pela exploração desses elementos.

Com base nesse contexto e nos temas previamente pesquisados — (1) inovação tecnológica relacionada às TR, (2) potencial brasileiro para exportação de TR e (3) demanda mundial por TR — cada grupo de estudantes preparou um discurso, respondendo à questão proposta. Essa atividade estimulou o pensamento crítico e a capacidade de argumentação dos alunos.

Ao final do debate, foi explicado que as discussões precisariam ser formalizadas em uma atividade escrita e que, na aula seguinte, todos deveriam produzir uma redação. Muitos estudantes ficaram surpresos ao descobrir que a “prova” de ciências seria uma redação. Para auxiliá-los na atividade, foi ensinado como elaborar um texto dissertativo.

6º momento – Atividade final: escrita do texto argumentativo

Nesta aula, foi proposta aos 31 estudantes presentes a elaboração de um texto argumentativo em resposta à pergunta: “Como o Brasil pode aproveitar melhor as suas reservas de terras raras, considerando os desafios econômicos, tecnológicos e ambientais?”. Apesar de já terem tido no dia anterior uma aula sobre a estrutura de textos argumentativos, muitos demonstraram dificuldade em fazer a atividade, afirmando que não sabiam como proceder. Além disso, houve dificuldade na interpretação da questão proposta.

De todo modo, os estudantes foram incentivados a desenvolver o texto conforme sua compreensão da proposta. No entanto, mesmo com essas orientações, dois alunos se recusaram a realizar a atividade, alegando que haviam faltado a aulas anteriores e, além disso, que não sabiam como elaborar um texto.

5.2 Análise da produção textual dos estudantes

A produção textual dos estudantes foi analisada com base na Análise de Conteúdo de Bardin³⁹. O número de textos analisados foi menor que o total de participantes, pois alguns estudantes faltaram no dia da atividade, e dois optaram por não realizá-la.

Seguindo as orientações de Bardin, a análise foi organizada em três etapas: (I) pré-análise, (II) exploração do material e (III) interpretação dos dados.

Dessa forma, na primeira etapa (pré-análise), o material foi organizado por meio da leitura flutuante, que orientou a formulação de hipóteses e definição dos objetivos de análise (Quadro 3), servindo de base para as etapas seguintes. O índice utilizado foi o tema, enquanto o indicador consistiu na presença ou ausência desses temas nos textos dos estudantes. Esse processo inicial permitiu identificar padrões e direcionar a exploração mais aprofundada dos dados na etapa seguinte.

Quadro 3 – Hipóteses e objetivos que orientaram as etapas seguintes de análise.

Hipóteses	Objetivos de análise
Os estudantes sabem quem são os elementos TR, como ocorrem na natureza e quais são suas aplicações no cotidiano.	Verificar se os estudantes assimilaram os conteúdos abordados na temática trabalhada.
Os discentes reconhecem o potencial brasileiro para a exploração dos elementos TR	Analisar se os discentes reconhecem o potencial brasileiro para a exploração dos elementos TR.
Os estudantes consideram fatores econômicos, sociais e ambientais para se posicionar sobre a exploração e utilização das TR na cadeia produtiva nacional.	Identificar os fatores sociais, econômicos e ambientais que influenciam o processo de tomada de decisão.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após essa etapa e com base nos objetivos definidos, os textos foram transcritos integralmente para preservar as informações originais. Em seguida, foram estabelecidas as categorias com base nos temas obtidos a partir da exploração do material (Quadro 4).

Quadro 4 – Temas e categorias de análise.

Temas	Categorias
1. Conteúdo 2. Histórico 3. Aplicações	I. Questões relacionadas à ciência e tecnologia
1. Potencial 2. Investimento 3. Consequências	I. Questões sociais, econômicas e ambientais

Fonte: Elaborado pelo autor.

Das 29 redações analisadas, 7 foram descartadas do corpus por não se enquadrarem em nenhuma categoria e por não estarem relacionadas à temática TR. Dessa forma, os 22 textos restantes abordaram pelo menos um tema de uma das categorias estabelecidas. A seguir, será apresentada a análise das produções textuais individuais, organizada por categoria.

5.2.1 Questões relacionadas à ciência e tecnologia

Na Categoria I (Quadro 5), foi analisado o conhecimento dos estudantes sobre a temática TR, com ênfase na identificação, obtenção e histórico desses elementos, além do reconhecimento de suas aplicações tecnológicas. Os relatos dessa categoria apresentam um caráter mais conteudista e demonstram a compreensão dos estudantes sobre informações específicas da temática estudada.

Quadro 5 – Descritores da categoria questões relacionadas à ciência e tecnologia.

Tema	Descritores	Categoria
1. Conteúdo	Apresenta alguma informação sobre os elementos TR (quais são, como ocorrem na natureza ou o significado do termo “terras raras”).	Questões relacionadas à ciência e tecnologia
2. Histórico	Apresenta algum fato histórico relacionado à participação do Brasil na exploração das TR.	
3. Aplicações	Exemplifica as aplicações das TR no cotidiano.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta categoria, observa-se que a maioria dos estudantes é capaz de identificar os elementos TR e compreende que, apesar do nome, esses elementos são abundantes na natureza. Eles também reconhecem que as TR estão presentes em minerais e que o Brasil já atuou significativamente na exploração desses elementos. Além disso, os estudantes mostram familiaridade com diversas aplicações tecnológicas desses elementos e destacam seu uso na sociedade e sua aplicação de acordo com as necessidades das pessoas. O Quadro 6 apresenta as frases dos discentes que foram agrupadas nessa categoria.

Quadro 6 – Frases agrupadas na categoria questões relacionadas à ciência e tecnologia.

Categoria I – Questões relacionadas à ciência e tecnologia	
1. Conteúdo	<p>“Os elementos terras raras são uma série de elementos compostos por lantanídeos, além do escândio e o ítrio” A1</p> <p>“Os elementos terras raras é um grupo de elementos químicos que fazem parte da família dos lantanídeos” A2</p> <p>“As terras raras não são raras e nem terras, pois são abundantes na crosta terrestre” A3</p> <p>“As terras raras são um grupo de 17 elementos químicos encontrados na tabela periódica [...] Monazita é um mineral importante que contém terras raras e é frequentemente explorado</p>

	<p>por suas propriedades e aplicações industriais” A4</p> <p>“Terras raras são bem mais comuns do que imaginamos, pois antigamente se achava que elas eram bem raras, por isso o nome de terras raras, que na verdade não são ‘terras’ e sim minérios achados em cavernas” A5</p> <p>“Existem 17 tipos diferentes de elementos conhecidos antigamente como terras raras mesmo não sendo terras muito menos raros mais raros por ser de difícil extração e separação em um minério pode ter mais de 10” B1</p> <p>“As terras raras são minérios extraídos da terra com elementos raros, por exemplo: radioativos” B2</p> <p>“Os elementos terras raras são elementos da tabela periódica no qual todos ocorrem na forma de minérios” B3</p> <p>“Terras raras são elementos da tabela periódica” B4</p>
2. Histórico	<p>“A exploração de terras raras no Brasil surgiu em 1885, e pouco tempo depois o Brasil já era o maior exportador de terras raras, o Brasil voltou a explorar monazita em 1940. E o encerramento da produção de terras raras aconteceu por volta de 1990” B5</p> <p>“A China substituiu o Brasil no mercado de terras raras e perdemos uma grande fonte econômica por causa de irresponsabilidades” C1</p>
3. Aplicações	<p>“As terras raras no Brasil são importantes na produção de energia limpa e renovável” A3</p> <p>“As terras raras são elementos químicos essenciais para a tecnologia moderna sendo utilizados na fabricação de produtos, como smartphones e veículos elétricos” C2</p> <p>“As terras raras são usadas em ímãs, composição e polimento do vidro e lente especial e etc” A2</p> <p>“As terras raras são utilizadas em diversas coisas principalmente na tecnologia hoje em dia” B3</p> <p>“Esses elementos podem ser usados para muitas coisas como televisão, ímãs, laser e etc.” B1</p> <p>“As terras raras são mais utilizadas em energia limpa e carros elétricos no caso da bateria do carro” B2</p> <p>“Uma das terras raras é o térbio muito utilizado para fazer leds” A5</p> <p>“Esses elementos chamados de terras raras são bastantes importantes porque alguns deles nós usamos no dia a dia, esses elementos também podem ser usados na medicina” B4</p> <p>“Os elementos terras raras são essenciais para diversas indústrias, especialmente na fabricação de eletrônicos, baterias, ímãs e tecnologia de energia limpa” C3</p> <p>“Um exemplo de aplicação de terras raras são os ímãs e os lasers” C4</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado, embora a maioria dos estudantes tenha definido corretamente os elementos TR, surgiram confusões quanto a sua compreensão como um grupo mais amplo que inclui os lantanídeos. Além disso, alguns apresentaram a ideia equivocada de que esses elementos são raros e radioativos. Vale destacar que nem todos os estudantes que realizaram a atividade participaram assiduamente das aulas ao longo da sequência de ensino, comprometendo o processo de aprendizagem.

5.2.2 Questões sociais, econômicas e ambientais

Na Categoria II (Quadro 7), foram analisados os principais aspectos sociais, econômicos e ambientais que influenciam o processo de tomada de decisão, com foco na percepção dos estudantes sobre como o Brasil pode aproveitar melhor suas reservas de terras raras. Os relatos dessa categoria apresentam um caráter mais pessoal, permitindo investigar como os discentes defendem seus pontos de vista e articulam suas opiniões em torno do tema.

Quadro 7 – Descritores da categoria questões sociais, econômicas e ambientais.

Tema	Descritores	Categoria
1. Potencial	Enxerga o Brasil como um país que tem potencial para a exploração de TR.	Questões sociais, econômicas e ambientais
2. Investimento	Faz referência ao investimento em tecnologia ou pesquisa como uma condição para a exploração de TR no Brasil.	
3. Consequências	Faz referência às consequências para a sociedade ou meio ambiente decorrente da exploração de TR.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 8 reúne as frases dos discentes agrupadas nesta categoria. Nota-se que os estudantes reconhecem as reservas significativas de monazita no Brasil e associam o potencial nacional para a exploração de terras raras à necessidade de investimentos públicos para garantir a inserção do país nesse mercado. Embora a sequência de ensino tenha abordado tanto os impactos ambientais dessa exploração quanto algumas estratégias para amenizá-los, os estudantes, apesar de destacarem a importância de considerar o meio ambiente, não apresentaram exemplos específicos de como isso poderia ser feito.

Quadro 8 – Frases agrupadas na categoria questões sociais, econômicas e ambientais.

Categoria II – Questões sociais, econômicas e ambientais	
1. Potencial	<p>“O país com a maior reserva é a China, o Brasil está em 3º lugar referente a maior reserva. Algumas cidades que se encontra as terras raras são: Pitinga – Amazonas, entre outras.” B2</p> <p>“O Brasil tem um enorme potencial para exploração em diversas áreas, desde os recursos naturais até o desenvolvimento tecnológico [...] O Brasil tem a terceira maior reserva de terras raras ao redor do mundo, apesar do tamanho das reservas, a extração realizada no país é pequena” C5</p> <p>“Junto de outros países o Brasil tem uma das maiores reservas de terras raras do mundo. Os maiores depósitos se concentram na China e no Vietnã. As principais reservas de terras raras no Brasil é em Minas Gerais, na Bahia e no Rio de Janeiro” A4</p> <p>“O Brasil tem grandes reservas de terras raras, mas enfrenta desafios para aproveitar isso” D1</p> <p>“No Brasil também as terras raras são encontradas em jazidas, como nas cidades minas gerais, catalão e no amazonas também” D2</p> <p>“O Brasil possui uma das maiores reservas de terras raras do mundo, elementos essenciais para diversas tecnologias modernas” D4</p> <p>“O Brasil possui uma grande quantidade de reservas de terras raras, que atualmente não estão sendo aproveitadas por questões de tecnologia, economia e ambiental” C1</p>
2. Investimento	<p>“O Brasil tem uma grande reserva mais infelizmente não tem um investimento adequado. As terras raras também não é muito falada nas escolas” B2</p> <p>“Não fazemos uma utilização melhor das nossas terras raras pois não temos muito apoio do poder público” B3</p> <p>“Para achar esses elementos precisamos de investimentos em pesquisa e financiamento” B4</p> <p>“O Brasil poderia aproveitar melhor as terras raras, ele poderia dar mais investimentos em relação a exploração, também pode investir em empresas tecnológicas” A4</p> <p>“O país deve investir em tecnologias de extração mais sustentáveis para explorar suas reservas” D1</p> <p>“O Brasil deve investir mais em pesquisa de terras raras para melhorar a tecnologia e a vida no Brasil” E1</p> <p>“As terras raras são importantes no dia a dia, o Brasil poderia dar mais emprego para as pessoas” A3</p> <p>“As terras raras podem ser importantes no Brasil para a economia do país” E2</p> <p>“O Brasil pode aproveitar melhor as reservas de terras raras adotando uma abordagem integrada que considere os desafios</p>

	<p>econômicos, tecnológicos e ambientais, como: investimentos em pesquisas e desenvolvimento tecnológico, que seriam muito importante para a população” C3</p> <p>“É fundamental criar um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico garantindo a preservação ambiental, para que a exploração seja proveitosa e não prejudicial para a sociedade e o meio ambiente [...] Para que isso aconteça, precisaria de um investimento feito pelo governo para incentivar as pesquisas e desenvolvimento [...] Além disso a conscientização da população sobre o uso responsável das terras raras é crucial. Campanhas educativas nas escolas e comunidades podem promover uma cultura de valorização dos recursos naturais e incentivar práticas sustentáveis” C2</p> <p>“Para que o país possa aproveitar melhor esses recursos, é necessário enfrentar desafios econômicos, tecnológicos e ambientais que permeiam essa exploração. Em primeiro lugar a questão econômica se destaca. O Brasil precisa desenvolver uma cadeia produtiva sólida que permita não apenas extração, mas também o processamento e a comercialização dos materiais. Isso implica investimentos em infraestruturas, além de incentivos” D4</p> <p>“O governo deveria investir no avanço de tecnologias. Ele precisa achar novas técnicas de extração” D5</p>
3. Consequências	<p>“Transformar a matéria-prima em produtos de maior valor também aumentaria a geração de empregos” D1</p> <p>“O aproveitamento das terras raras serão fundamentais na transição energética” D2</p> <p>“O Brasil tem grande reservas de terras raras, porém isso afeta o meio ambiente por causa da exploração desse recurso” D3</p> <p>O aproveitamento consciente destas reservas poderiam levar nossa economia a outro nível, exportando tais elementos para outros países e amentando o fluxo do nosso mercado, como por exemplo no mercado de smartphones, de eletrônicos, etc [...] Não apenas isso, mas também temos as questões ambientais, a mineração excessiva e desregular só piora a situação” C1</p> <p>“O Brasil é um dos países que tem uma das maiores reservas de terra rara que pode ser muito bem aproveitada para o avanço tecnológico e econômicos, mas entre as desvantagens de extrair essas terras é a violência para o meio ambiente” B1</p> <p>“A questão ambiental também é um problema por que com os recentes problemas ambientais com os yanomami o Brasil ficou afetado com isso e para começar a extração desses elementos temos que pensar na radioatividade da monazita para o solo e para as pessoas” A1</p> <p>“A exploração de terras raras seria muito benéfica para o país no meio econômico, pois o país pararia de depender de importações, além de também gerar empregos nessa área, com a criação de uma cadeia produtiva local” C2</p> <p>“O Brasil é rico em terras raras, mas infelizmente a extração desses elementos é muito prejudicial para os humanos e para o</p>

	meio ambiente [...] Terras raras são encontradas no solo, para obter é necessário escavação e isso deixa muitos indígenas sem lar, contamina o solo, água, ar e prejudica a natureza. O Brasil deveria buscar a melhor forma de extrair terras raras, com menos poluição e famílias desabrigadas [...] Nós dependemos muito de Terras raras, mas isso deteriora a natureza do país” D5
--	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os relatos analisados evidenciam que muitos estudantes expressam preocupações significativas em relação aos impactos ambientais resultantes da exploração de TR. Além disso, demonstram um forte senso de responsabilidade social ao refletir sobre a necessidade de amenizar esses impactos. Também foi possível observar reflexões sobre a necessidade de investimentos em pesquisa e tecnologia, destacando a importância de adotar valores éticos e sustentáveis na realização de atividades de exploração. Os estudantes reconhecem que, para que a exploração de recursos naturais ocorra de maneira consciente, é essencial haver um compromisso coletivo com práticas que respeitem o meio ambiente e promovam a justiça social.

Diante do exposto, a análise da produção textual dos estudantes revelou uma compreensão satisfatória sobre a temática dos elementos TR. A maioria dos participantes demonstrou capacidade de identificar esses elementos e suas aplicações tecnológicas, além de situar o Brasil no contexto global da exploração desses recursos. Embora alguns equívocos conceituais tenham sido identificados, os resultados indicam, de forma geral, um bom entendimento da temática.

Além disso, os resultados desta pesquisa apresentam pontos de convergência com os descritos por De Faria, especialmente no que se refere à formação crítica³⁴. Em ambos os estudos, as atividades didáticas permitiram que os participantes identificassem e analisassem aspectos complexos — no caso de De Faria, relacionados aos impactos ambientais da mineração de TR, e neste trabalho, ao potencial brasileiro para a extração, separação, purificação e utilização de TR na confecção de produtos com tecnologia nacional.

Portanto, essa Sequência Didática mostrou-se eficaz ao promover o aprendizado, engajando os estudantes em reflexões que vão além do âmbito científico e incentivando-os a considerar as implicações econômicas e socioambientais das decisões relacionadas aos elementos TR.

6 CONCLUSÃO

Ao longo da Sequência Didática, nas aulas de ciências, buscou-se aproximar os estudantes da temática TR por meio de uma abordagem integrada que considera os aspectos científicos, tecnológicos e sociais relacionados às reservas desses elementos no Brasil. Fundamentada na perspectiva CTSA, a proposta visou contribuir para a formação cidadã e promover uma reflexão crítica sobre a necessidade de uma articulação mais efetiva entre os setores acadêmico, empresarial e governamental. O intuito foi destacar a importância de evitar que as TR sejam exportadas apenas como *commodities* no Brasil e, em vez disso, sejam utilizadas de forma estratégica e integrada à economia nacional, superando o subaproveitamento desse recurso pela falta de políticas públicas estratégicas de gestão.

Os dados coletados durante a Sequência Didática foram analisados com base na metodologia da pesquisa qualitativa. Ao longo das aulas, os estudantes demonstraram grande interesse e engajamento na realização das atividades. A participação ativa dos discentes foi especialmente evidente durante o levantamento de questões e a entrega das atividades, enriquecendo as discussões realizadas em sala. Além disso, os estudantes trabalharam majoritariamente em grupos, desenvolvendo habilidades colaborativas. A partir das observações diretas, constatou-se que souberam atuar em equipe, fortalecendo competências de pesquisa, cooperação e tomada de decisão.

A análise de conteúdo permitiu identificar como os estudantes estabeleceram relações dentro da perspectiva CTSA, a partir dos textos por eles produzidos. Como resultado, foram definidas duas categorias principais. A primeira, intitulada “Questões relacionadas à ciência e tecnologia”, reuniu relatos dos discentes sobre seu conhecimento dos elementos TR, com destaque para sua identificação, ocorrência na natureza e presença no cotidiano. Já a segunda, denominada “Questões sociais, econômicas e ambientais”, incluiu as percepções dos estudantes sobre os avanços científicos e tecnológicos relacionados ao uso desses elementos, bem como os benefícios e desafios para a sociedade resultante da exploração dos mesmos, como a geração de empregos e os impactos ambientais. Observou-se, ao longo da análise, a formação de conceitos relevantes após a realização da Sequência Didática.

Dada a relevância da abordagem CTSA para o Ensino de Química, essa sequência destacou o papel dos elementos terras raras no desenvolvimento de tecnologias essenciais para a sociedade globalizada. Ao longo das atividades, buscou-se evidenciar

como o conhecimento científico contribui para a compreensão da realidade. Ficou claro que integrar questões sociais, tecnológicas e ambientais nas aulas oferece uma oportunidade valiosa para que os estudantes assimilem conceitos científicos e cultivem uma visão crítica do mundo. Essa abordagem permite que enxerguem a Ciência não apenas como um conjunto teórico, mas como uma ferramenta ativa na interpretação e transformação da realidade ao seu redor.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi promover o senso crítico e estimular uma formação voltada para a tomada de decisões. Consideramos que esses objetivos foram alcançados por meio das atividades realizadas nesta Sequência Didática, pois elas contribuíram significativamente para a compreensão da importância dos elementos TR no contexto atual e envolveram os estudantes em situações que exigiram posicionamento crítico. Além disso, essas atividades possibilitaram o debate em sala de aula, evidenciando que a química não é uma ciência isolada, mas está presente em diversas situações do nosso cotidiano.

REFERÊNCIAS

- ¹Connelly, N. G. *et al.* **Nomenclature of Inorganic Chemistry IUPAC Recommendations 2005**. Cambridge: RSC Publishing, 2005.
- ²SILVA JUNIOR, A. F.; DE CAMPOS, M. F. Relevância das terras raras para o setor energético. **HOLOS**, v. 1, 2016.
- ³XIA, Z.; LIU, Q. Progress in discovery and structural design of color conversion phosphors for LEDs. **Progress in Materials Science Elsevier**, v. 84, p. 59–117, 2016.
- ⁴RODRIGUES, D.; DE CASTRO, J. A.; DE CAMPOS, M. F. **Perspectives for Rare-Earth Magnets in Brazil**. Conference: REPM 2014 – 23rd International Workshop on Rare Earth and Future Permanent Magnets and Their Applications, 2014.
- ⁵DE SOUSA FILHO, P. C.; GALAÇO, A. R. B. S.; SERRA, O. A. Terras raras no Brasil: histórico, produção e perspectivas. **Química Nova**, V. 37, n. 4, p. 753–760, 2014.
- ⁶CARRIELLO, G. M. *et al.* **A escassez do tema terras raras nos livros didáticos de Ciência das Natureza do PNLD 2021**. XII Encontro Paulista de Pesquisa em Ensino de Química (XII EPPEQ), 2023.
- ⁷BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. **Ministério da Educação**, Brasília, 2017.
- ⁸AKAHOSHI, L. H. *et al.* Enfoque CTSA em materiais instrucionais produzido por professores de química. **R. bras. Ens. Ci. Tecnol.**, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p. 124–154, 2018.
- ⁹SERRA, O. A.; DE LIMA, J. F.; DE SOUSA FILHO, P. C. A Luz e as Terras Raras. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 242–266, 2015.
- ¹⁰MARTINS, T. S.; ISOLANI, P. S. Terras raras: aplicações industriais e biológicas. **Química Nova**, v. 28, p. 112–117, 2004.
- ¹¹DE SOUSA FILHO, P. C.; GALAÇO, A. R. B. S.; SERRA, O. A. Terras raras: tabela periódica, descobrimento, exploração no Brasil e aplicações. **Química Nova**, v. 42, n. 10, p. 1208–1224, 2019.
- ¹²THYSSEN, P.; BINNEMANS, K. Chapter 248 – Accommodation of the Rare Earths in the Periodic Table: a historical analysis. *In*: GSCHNEIDNER Jr., K. A.; BÜNZLI, J. C. G.; PECHARSKY, V. K. **Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths**. Burlington: Elsevier, 2011, p. 1– 94.

- ¹³ABRÃO, A. **Química e Tecnologia das Terras-Raras**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994.
- ¹⁴SIGOLI, F. A.; BISPO JUNIOR, A. G.; DE SOUSA FILHO, P. C. **Lantanídeos: química, luminescência e aplicações**. Campinas: Editora Átomo, 2022.
- ¹⁵HOSHINO, M.; SANEMATSU, K.; Watanabe, Y. Chapter 279 – REE Mineralogy and Resources. *In*: BÜNZLI, J. C. G.; PECHARSKY, V. K. **Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths**. Amsterdam: Elsevier, v. 49, 2016, p. 129– 291.
- ¹⁶LAPIDO–LOUREIRO, F. E. V.; **O Brasil e a reglobalização da indústria das terras-raras**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 2013.
- ¹⁷LAPIDO–LOUREIRO, F. E. V.; **Terras-raras no Brasil: depósitos, recursos identificados, reservas**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994.
- ¹⁸SERRA, O. A. Terras Raras – Brasil x China. **J. Braz. Chem. Soc.**, V. 22, N. 5, p. 809–810, 2011.
- ¹⁹BALARAM, V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. **Geoscience Frontiers**, v. 10, n. 4, p. 1285–1303, 2019.
- ²⁰BISPO-JR, A. G. et al. Recent prospects on phosphor-converted LEDs for lighting, displays, phototherapy, and indoor farming. *Journal of Luminescence*. **Journal of Luminescence**, v. 237, p. 118167, 2011.
- ²¹TROVARELLI, A. *et al.* The utilization of ceria in industrial catalysis. **Catalysis Today**, v. 50, p. 353–367, 1999.
- ²²COEY, J. M. D. Permanent magnet applications. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 248, p. 441–456, 2002.
- ²³AIKENHEAD, G. S.; RYAN, A. G. The Development of a New Instrument: “Views on Science—Technology—Society” (VOSTS). **Science Education**, v. 76, n. 5, p. 477–491, 1992.
- ²⁴AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 1, p. 17–13, 2001.
- ²⁵DOS SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no contexto da educação brasileira. **ENSAIO – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, p. 110–132, 2000.

²⁶DE SIQUEIRA, G. C. *et al.* CTS e CTSA: em busca de uma diferenciação. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 17, n. 48, 2021.

²⁷DOS SANTOS, W. L. P. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência & Ensino**, v. 1, 2007.

²⁸DE ABREU, T. B.; FERNANDES, J. P.; MARTINS, I. **Uma análise qualitativa e quantitativa da produção científica sobre CTS (ciência, tecnologia e sociedade em periódicos da área de ensino de ciências no Brasil)**. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 7, 2009.

²⁹DOS SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. **Educação em química: compromisso com a cidadania**. 4 ed. Porto Alegre: Unijuí, 2010.

³⁰ZOLLER, U.; WATSON, F. G. Technology Education For Students In The Secondary Nonscience School. **Science Education**, v. 58, n. 1, p. 105–116, 1974.

³¹AIKENHEAD, G. S. What is STS Science Teaching? *In*: SOLOMON, J.; AIKENHEAD, G. S. **STS Education: international perspectives on reform**. New York: Teachers College Press, 1994.

³²ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

³³DE MELO, A. G.; DOS SANTOS, M. L.; ARAÚJO, C. S. T. Sequências didáticas no ensino de química: possibilidades para a experimentação. **Rev. Ciênc. & Ideias**, v.12, n. 3, p. 194–212, 2021.

³⁴DE FARIA, G. C. S. **Análise de uma sequência didática com o tema elementos terras raras: Uma abordagem CTS no ensino de química**. Dissertação – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP). São Paulo: [s. n.], 2020.

³⁵SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de pesquisa**. 5 ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

³⁶DE FARIA, P. M. F.; DE CAMARGO, D. Metassíntese: revisão sistemática qualitativa na área da educação. **Revista Brasileira de Educacao**, v. 27, 2022.

³⁷PLICKERS. **Plickers: sistema de resposta em sala de aula**. [S.l.]: Plickers Inc., [2024]. Disponível em: <https://www.plickers.com>. Acesso em: (26 de outubro de 2024).

³⁸GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6 ed. São Paulo: Editora Atlas S/A, 2008.

³⁹BARDLN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

⁴⁰BERELSON, B. **Content Analysis in Communications Research**. New York: Free Press, 1952.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PLANEJAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

SEQUÊNCIA DIDÁTICA		
ESCOLA: Escola Municipal de Ensino Fundamental Virginius da Gama e Melo		
TURMA: 9º ano		
TURNO: Manhã		
DISCIPLINA: Ciências		
DURAÇÃO DA AULA: 40 minutos		
TEMÁTICA		
<ul style="list-style-type: none"> • Terras Raras: da subutilização à autonomia tecnológica 		
OBJETIVOS		
<ul style="list-style-type: none"> • Identificar os elementos terras raras na Tabela Periódica; • Conhecer as aplicações tecnológicas dos elementos terras raras; • Entender como os elementos terras raras ocorrem na natureza; • Discutir as implicações sociais, econômicas e ambientais relacionadas à exploração e aplicação tecnológica dos elementos terras raras; • Analisar criticamente o potencial brasileiro no contexto global de tecnologia de terras raras. 		
CONTEÚDOS		
<ul style="list-style-type: none"> • Classificação periódica dos elementos terras raras. 		
HABILIDADE		
<ul style="list-style-type: none"> • Analisar as propriedades dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e propor soluções seguras e sustentáveis considerando seu contexto local e cotidiano. 		
METODOLOGIA		
Organização do conhecimento	Atividade	Quantidade de aulas
1º Momento	Sondar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a temática TR por meio de um questionário diagnóstico.	1 aula
2º Momento	<p>Apresentar os elementos TR. (5 minutos)</p> <p>Contar a história de descoberta desses elementos. (15 minutos)</p> <p>Explicar como esses elementos ocorrem na natureza. (15 minutos)</p> <p>Discutir o porquê do nome “terras raras”. (5 minutos)</p> <p>Atividade: Sugerir pesquisa em grupo sobre as aplicações luminescentes e magnéticas das TR.</p>	1 aula

	Pedir que cada grupo de estudante escolha um elemento e elabore uma cartilha criativa com as principais informações associadas a esse elemento e suas aplicações no cotidiano. Disponibilizar material de consulta.	
3º Momento	<p>Realizar uma roda de conversa para que os estudantes apresentem o material elaborado sobre as aplicações das TR no cotidiano. (30)</p> <p>Mediar discussão sobre a relevância desses elementos na sociedade moderna. (10 minutos)</p> <p>Contar a história da exploração de TR no Brasil. (20 minutos)</p> <p>Apresentar os tipos de minérios mais comuns para obtenção de TR e enfatizar que no Brasil o mais comum é a monazita. Enfatizar que esses elementos geralmente ocorrem na forma de óxidos. (20 minutos)</p> <p>Atividade: Sugerir trabalho em grupo para a pesquisa dos impactos ambientais associados à extração e processamento das TR. Pedir que cada grupo de estudante escolha um minério diferente (monazita, xenotima e bastnasita) e que prepare um mapa mental sobre os impactos da exploração de TR a partir desse minério. Disponibilizar material de consulta.</p>	2 aulas
4º Momento	<p>Apresentação dos estudantes do mapa mental elaborado sobre impactos ambientais da exploração de elementos TR. (30 minutos)</p> <p>Mediar discussão sobre estratégias de sustentabilidade referentes ao uso tecnológico de TR. (10 minutos)</p> <p>Atividade: Sugerir que a turma se organize em grupos e que cada grupo escolha um dos temas abaixo para pesquisar: (1) inovação tecnológica das TR, (3) potencial brasileiro para exportação de TR e (4) demanda mundial de TR. Pedir que os estudantes organize o que foi pesquisado por escrito e que se preparem para um debate. Disponibilizar o material de consulta.</p>	1 aula
5º Momento	Organizar um debate em grupo sobre a temática do subaproveitamento das TR no Brasil com base na seguinte pergunta: Por que o Brasil não agrega valor aos elementos TR?	1 aula
6º Momento	Pedir aos alunos que escrevam um texto argumentativo respondendo à pergunta: Como o Brasil pode aproveitar melhor as suas reservas de terras raras, considerando os desafios econômicos, tecnológicos e ambientais?	2 aulas
RECURSOS		
<ul style="list-style-type: none"> • Quadro; • Notebook; 		

- Televisão;
- Papel;
- Caneta.

AVALIAÇÃO

A avaliação será realizada numa perspectiva formativa em que se considerará os seguintes critérios:

1. Comprometimento com as atividades propostas: Assiduidade dos estudantes nas aulas e compromisso na realização das atividades propostas.
2. Clareza e organização: capacidade dos estudantes de apresentar suas ideias de forma lógica e bem estruturada
3. Criatividade: originalidade na execução das atividades lúdicas e na forma de comunicação das suas ideias.
4. Precisão científica: coerência científica e domínio da Norma Padrão da Língua Portuguesa.

REFERÊNCIAS

ABRÃO, A. **Química e Tecnologia das Terras-Raras**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994.

DE SOUSA FILHO, P. C.; GALAÇO, A. R. B. S.; SERRA, O. A. Terras raras no Brasil: histórico, produção e perspectivas. **Química Nova**, V. 37, n. 4, p. 753–760, 2014.

DE SOUSA FILHO, P. C.; GALAÇO, A. R. B. S.; SERRA, O. A. Terras raras: tabela periódica, descobrimento, exploração no Brasil e aplicações. **Química Nova**, v. 42, n. 10, p. 1208–1224, 2019.

MARTINS, T. S.; ISOLANI, P. S. Terras raras: aplicações industriais e biológicas. **Química Nova**, v. 28, p. 112–117, 2004.

SERRA, O. A.; DE LIMA, J. F.; DE SOUSA FILHO, P. C. A Luz e as Terras Raras. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 242–266, 2015.

SIGOLI, F. A.; BISPO JUNIOR, A. G.; DE SOUSA FILHO, P. C. **Lantanídeos**: química, luminescência e aplicações. Campinas: Editora Átomo, 2022.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

0%

Você já ouviu falar sobre elementos terras raras?

A Sim

B Não

28%

Você já ouviu falar sobre lantanídeos?

A Sim

B Não

44%

Identifique qual dos pares de elementos abaixo são terras raras?

A O (oxigênio) e Tb (térbio)

B Sc (escândio) e Eu (európio)

C N (nitrogênio) e C (carbono)

D Na (sódio) e Cl (cloro)

56%

De um modo geral, os elementos terras raras são abundantes na natureza?

- A Sim
- B Não
- C Não sei responder

Survey

De um modo geral, os lantanídeos são abundantes na natureza?

- A Sim
- B Não
- C Não sei responder

11%

O que são lantanídeos?

- A Elementos químicos do bloco f da tabela periódica
- B Metais de transição
- C Gases nobres
- D Não sei responder