

HÉLIO-3 COMO FONTE ENERGÉTICA NA ERA DO ANTROPOCENO: PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA

HELIO-3 AS AN ENERGY SOURCE IN THE ANTHROPOCENE ERA:
PROPOSAL FOR A TEACHING SEQUENCE

HÉLIO-3 COMO FUENTE DE ENERGÍA EN LA ERA DEL ANTROPOCENO:
PROPUESTA DE SECUENCIA DIDÁCTICA

Felipe Fernandes Barbosa*

Viviane de Oliveira Campos**

Ellen Kadja Lima de Moraes***

RESUMO

A humanidade compartilha a era do Antropoceno. Isto é, a ação antrópica modificou irreversivelmente a era geológica do planeta. Desde a Revolução Industrial, os níveis de dióxido de carbono (CO_2) elevaram consideravelmente, paralelo a desmatamentos, poluição, expansão urbana e consumismo infinito em um planeta com recursos finitos, ocasionando enchentes, aquecimento global, dentre outras consequências. Desse modo, o uso de energia sustentável é uma opção para mitigar a situação, embora apenas desacelere uma catástrofe iminente. No entanto, nas últimas décadas ocorreu a evolução da reação de fusão nuclear, prometendo quantidades exorbitantes de energia sem emissão de CO_2 , como alternativa aos combustíveis fósseis e seus derivados menos agressivos. A utilização do isótopo Hélio-3 na reação de fusão está impulsionando países em uma nova corrida espacial, já que esse isótopo é abundante na Lua. Partindo dessa premissa, este artigo discute uma possibilidade de aplicação de sequência didática para alunos do 1º ano do ensino médio, na qual os assuntos básicos que envolvem essa temática são abordados e criteriosamente elaborados, baseando-se em artigos recentes em consonância com conceitos de Ciência, Tecnologia e Sociedade, além de envolver questões sociocientíficas. O despertar crítico dos educandos acerca dessa temática percorre o letramento científico, objetivando, ao final do processo, gerar conhecimento significativo. Afinal, é necessária uma mudança não apenas de matriz energética, mas de um modo de produção mais sustentável e consciente na era do Antropoceno.

Palavras-chave: Antropoceno. Hélio-3. Fusão Nuclear. Sequência Didática.

* Doutor em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Pesquisador na área de energias renováveis pela UFRN. Endereço para correspondência: Bairro Lagoa Nova, s/n, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, CEP: 59078-900. E-mail: felipefbarboza@outlook.com.

** Doutora em Ciências e Engenharia do Petróleo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Tecnóloga em Microscopia pela UFRN. Endereço para correspondência: Bairro Lagoa Nova, s/n, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, CEP: 59078-900. E-mail: viviane.campos@ufrn.br.

*** Doutora em Ciências e Engenharia do Petróleo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Pesquisadora na área de energias renováveis pela UFRN. Endereço para correspondência: Bairro Lagoa Nova, s/n, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, CEP: 59078-900. E-mail: ellenkadja2@gmail.com.

ABSTRACT

Humanity shares the Anthropocene era. That is, human activity has irreversibly altered the planet's geological era. Since the Industrial Revolution, carbon dioxide (CO₂) levels have risen considerably, alongside deforestation, pollution, urban expansion, and infinite consumerism on a planet with finite resources, resulting in floods, global warming, and other consequences. Thus, the use of sustainable energy is an option to mitigate the situation, although it only slows down an imminent catastrophe. However, in recent decades the nuclear fusion reaction has evolved, promising exorbitant amounts of energy without CO₂ emissions, as an alternative to fossil fuels and their less aggressive derivatives. The use of the isotope Helium-3 in fusion reactions is driving countries into a new space race, as this isotope is abundant on the Moon. Based on this premise, this article discusses the possibility of applying a didactic sequence for first-year high school students, in which the basic topics involved in this theme are addressed and carefully crafted, based on recent articles in line with the concepts of Science, Technology, and Society, and also involving socio-scientific issues. The critical awakening of students regarding this topic goes through scientific literacy. After all, a change is needed not only in the energy matrix but also in a more sustainable and conscious mode of production in the Anthropocene era.

Keywords: Anthropocene. Helium-3. Nuclear Fusion. Teaching Sequence.

RESUMEN

La humanidad comparte la era del Antropoceno. En otras palabras, la acción antropogénica ha alterado irreversiblemente la era geológica del planeta. Desde la Revolución Industrial, los niveles de dióxido de carbono (CO₂) han aumentado considerablemente, en paralelo con la deforestación, la contaminación, la expansión urbana y el consumismo infinito en un planeta con recursos finitos, lo que ha ocasionado inundaciones, calentamiento global, entre otras consecuencias. El uso de energía sostenible es una opción para mitigar la situación, aunque solo frena una catástrofe inminente. En las últimas décadas ha evolucionado la reacción de fusión nuclear, que promete cantidades exorbitantes de energía sin emisiones de CO₂, como una alternativa a los combustibles fósiles y sus derivados menos agresivos. El uso del isótopo Helio-3 en la reacción de fusión está impulsando a los países hacia una nueva carrera espacial, ya que este isótopo es abundante en la Luna. En este artículo se discute la posibilidad de aplicar una secuencia didáctica para estudiantes de primer año de educación secundaria, en la que se aborden y elaboren cuidadosamente las cuestiones básicas en torno a este tema, basándose en artículos recientes en consonancia con los conceptos de Ciencia, Tecnología y Sociedad, además de envolver cuestiones sociocientíficas. El despertar crítico de los estudiantes en torno a este tema pasa por la alfabetización científica, con el objetivo de generar conocimiento significativo al final del proceso. Al fin y al cabo, es necesario un cambio no solo de la matriz energética, sino también de un modo de producción más sostenible y consciente en la era del Antropoceno.

Palavras-chave: Antropoceno. Helio-3. Fusión Nuclear. Secuencia Didáctica.

1 INTRODUÇÃO

A humanidade vive a era do Antropoceno (Keys *et al.*, 2019). Isto é, a atividade antrópica é tão intensa, que, nos últimos séculos, o ser humano foi capaz de alterar a atual era geológica, quer seja pela emissão de toneladas de gases estufa, quer seja pelo desmatamento, ou do crescimento desenfreado (não sustentável) das cidades em função do modelo de produção

capitalista (Robert, 2016; Bains *et al.*, 2017). Como consequência direta, a temperatura global está aumentando pela intensidade do efeito estufa. Observa-se cidades inundadas a partir da variação do clima (Hu *et al.*, 2024).

Por outro lado, possibilidades mais sustentáveis estão sendo aplicadas para mitigação de gases estufa, a partir da utilização de energias alternativas, como solar, eólica, elétrica, geotérmica (Laakso *et al.*, 2021). A energia nuclear também surge como uma opção viável, pois é limpa e não emite carbono. Com isso, o cenário mundial volta-se para a possibilidade de exploração do isótopo do elemento químico hélio (He), o chamado hélio-3 (^3He). Este isótopo pode ser utilizado em fusão nuclear, pois é uma fonte extremamente limpa para produção de energia por milhares de anos (sem emissão de carbono), diferentemente de outros elementos radioativos que geram o lixo nuclear. No entanto, é um elemento extremamente raro no planeta Terra, uma vez que o ^4He é o mais abundante (~99%). Por outro lado, o ^3He é detectado em quantidades significativas na Lua, gerando interesse de diversas nações em sua exploração no satélite natural (Simko; Gray, 2014), embora haja desafios técnicos e econômicos para extração e transporte deste elemento.

Todavia, geralmente, assuntos que tratam de exploração espacial são cercados por interesse e curiosidade, uma vez que aparentemente se mostram como uma realidade de ficção científica ou de tecnologias inalcançáveis para a nossa realidade. Segundo Carl Sagan (2013), “nossas contemplações do universo, mesmo as mais breves ou superficiais, mexem conosco.”. No entanto, o vigente estágio tecnológico e programas espaciais de diversas nações possuem como objetivo específico a exploração do ^3He e sua posterior aplicação em modernos reatores de fusão nuclear.

A partir dessa discussão, é necessária uma maior difusão de ideias sobre ^3He em sala de aula. Afinal, é notório o letramento científico de estudantes na educação básica, apropriando-se criticamente do saber científico para alcançar um nível superior eco-reflexivo da realidade (Barbosa, 2023). Por outro lado, a discussão que envolve ciência, tecnologia e sociedade (CTS) deve ser levada em consideração perante questionamentos sociais, reflexivos e críticos acerca da questão do antropoceno e do uso de energias alternativas (Pinheiro *et al.*, 2007).

Além disso, o estímulo por meio de questões sociocientíficas (QSC) relacionadas ao tema de “fusão nuclear” incentiva o educando a manter um posicionamento, uma tomada de decisão (Brito *et al.*, 2010). A integração de QSC envolve aspectos científicos e sociais por meio da educação, isto é, integrando questões cotidianas com temáticas CTS (Conrado; Nunes-

Neto, 2018). Nesse contexto de natureza pluridisciplinar, as diferentes áreas do conhecimento em articulação promovem um desenvolvimento de habilidades críticas, enfatizando valores éticos, novos desafios, contextos históricos com base nas ciências, como a química, tratando-se do ensino de fusão nuclear (Genovese *et al.* 2019). Consequentemente, desenvolve-se uma apropriação crítica desse conhecimento e uma ampliação de novas abordagens energéticas que vão além dos combustíveis fósseis e renováveis.

Por meio de uma sequência didática (SD) (Matias *et al.*, 2024), é possível a síntese dessas ideias de CTS e de QSC com a amplificação de estímulos nos alunos para despertarem acerca do debate sobre a situação do Antropoceno e alternativas para mitigar o atual cenário por meio da ciência. Nesse sentido, para uma contextualização inicial planejada de SD, considera-se o conhecimento prévio dos alunos para avançar para novos conhecimentos, isto é, partindo de um conhecimento espontâneo, objetivando o científico (Carvalho, 2013). A construção desse conhecimento ocorre a cada aula, por meio da compreensão de novos conteúdos, do debate, da apropriação crítica do saber, em que o senso comum ou uma visão pragmática e ingênua é complexificada, dando lugar à formação de cidadãos alfabetizados científicamente (Santos 2007).

Estudos prévios demonstram que a aplicação de uma SD envolvendo temas como a questão do antropoceno (Moreno *et al.*, 2020), fusão nuclear (Santos 2023), energias renováveis (Silva; Lorenzetti, 2020), aquecimento global (Sarmento 2021) norteia diversos assuntos para além dos tópicos da disciplina ministrada em sala de aula. Dessa forma, a conexão de conteúdos de química estudados na educação básica aplicados à realidade reforça competências complementares para uma capacitação científica significativa, proporcionando situações em que os educados se posicionem, ou seja, assumem um papel crítico neste processo decisório ao se apropriarem destes conhecimentos.

As ideias tratadas devem servir como inspiração para o docente ao planejar a sequência didática, uma vez que foram baseadas em artigos científicos. É necessário enfatizar que todo o complexo que envolve a tecnologia de exploração e aplicação do ${}^3\text{He}$, por si só, não será a solução do Antropoceno. Porém, devem ser somadas as mudanças radicais do modo de produção capitalista de consumo/produção ao qual estamos inseridos a partir do uso sustentável do ${}^3\text{He}$, como esperança energética e limpa para o futuro da humanidade. Desse modo, tendo como público-alvo alunos do ensino médio (1º ano, especificamente), a proposta deste estudo tem o objetivo de conscientização científico-política acerca das principais questões envolvendo

a exploração do ${}^3\text{He}$ e sua consequência positiva para o planeta, utilizando uma sequência didática que abrange discussões sobre Ciência, Tecnologia e Sociedade e Questões Sociocientíficas.

2 METODOLOGIA

A metodologia adotada para este trabalho é baseada em uma sugestão de Sequência Didática, especificamente voltada para alunos do 1º ano do ensino médio. Trata-se de uma abordagem qualitativa, pois está voltada para o processo de ensinar, em vez de focar no produto deste processo (Ludke; André, 1986). Neste ano, a disciplina de química é ministrada, considerando os conteúdos de modelos atômicos, número atômico, isótopos, isóbaros, isótonos, reações nucleares (fissão e fusão), estados físicos da matéria, energia etc. No entanto, esta proposta de SD é multidisciplinar, visto que engloba discussões acerca das áreas de ciências humanas e demais disciplinas das ciências da natureza e suas tecnologias.

Para a práxis da proposta deste trabalho, torna-se necessário utilizar conceitos envolvendo CTS e QSC por meio da SD. A união destes conceitos é fundamental para promover uma educação de característica mais crítica e contextualizada, uma vez que não se trata de atividades puramente técnicas ou acadêmicas, mas que objetivam o desenvolvimento de reflexões sobre as implicações tecnológicas, éticas e ambientais dos conteúdos de química (Ferreira *et al.*, 2020). Diante dessa perspectiva, espera-se que os alunos compreendam as inovações da ciência, tecnologia e seu impacto social, ampliando os saberes para uma visão integrada do conhecimento. Além disso, envolver QSC permite desenvolver habilidades de pensamento crítico, reflexivo e questionador, formando, sobretudo, cidadãos conscientes (Dos Santos *et al.*, 2020).

A sequência didática apresentada está alinhada com o documento oficial da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2017), a qual sugere competências como: valorizar/utilizar os conhecimentos acumulados ao longo da história; exercitar pensamento crítico, inclusive (mas não só) no âmbito científico; argumentar de forma crítica e fundamentada sobre diversos assuntos, como os inerentes ao meio ambiente e ao consumo. Ainda conforme as Diretrizes Nacionais Curriculares para o ensino médio (Brasil, 2018), o Artigo 12, que trata das áreas do conhecimento e da formação técnica e profissional, considerando os itinerários formativos, aborda sobre ciências da natureza e suas tecnologias. Assim, o aprofundamento de

conhecimentos estruturantes permite a aplicação de diferentes conceitos envolvendo o estudo da análise de fenômenos físicos e químicos, molecular, quântico, dentre outros.

O Quadro 1 apresenta, teoricamente, a sugestão de aulas para a metodologia de sequência didática proposta. Cada aula perpassa a discussão entre Ciência, Tecnologia e Sociedade com conteúdo de química, além de envolver questões sócio científicas; ao passo que o estudante vai adquirindo novos conhecimentos por meio de letramento científico (no processo da sequência didática), esperando-se, ao final da SD, uma perspectiva mais crítica dos conhecimentos adquiridos. Toda a discussão presente nos tópicos como sugestão para a SD foi gerada a partir de consulta na literatura nacional e internacional entre os anos de 2016 a 2024 acerca das principais temáticas (do Antropoceno à fusão nuclear). Caso necessário, podem ocorrer ajustes da SD pelo professor durante as práticas didáticas, a fim de adaptar as diferentes situações de tempo de aula e calendário acadêmico. Nesse sentido, precisa-se envolver três fases em cada aula: a conceitualização da problemática e seus temas (I); exploração dos conteúdos estudados (II) e argumentação, momento em que os alunos promovem a síntese dos conteúdos discutidos (III). A tendência natural a cada aula está relacionada à sobreposição de mais fases que outras, principalmente a fase III, voltada para o último encontro.

Quadro 1 – Breve descrição da Sequência Didática proposta.

Aula	Título da aula	Breve descrição	Conteúdos
1	Antropoceno: é possível imaginar um futuro não catastrófico?	Introdução sobre a questão da era do Antropoceno; atividade antrópica; ciclo do carbono; possíveis soluções para mitigação de gases estufa; a possibilidade do He ³ .	Atualidades; ciclo do carbono; modelos atômicos; isótopos, isótonos e isóbaros;
2	Replicando a energia das estrelas em reações controladas de fusão nuclear: ³ He o combustível do futuro.	Papel fundamental da ciência na inovação; descrição de reações nucleares (fissão e fusão); funcionamento de uma planta de reator de fusão nuclear; possibilidade de minerar ³ He na Lua.	Fissão nuclear; Fusão nuclear; Reações nucleares; Estados físicos da matéria.
3	Conclusão e perspectivas sobre uma alternativa ao Antropoceno.	Avaliação a partir de questionário; discussão geral com os alunos.	-

Fonte: Produção do autor (2024).

4 ANÁLISE E RESULTADOS

A seguir, são apresentadas as discussões das três aulas previstas para a Sequência Didática. As discussões são baseadas na literatura recente envolvendo as questões-chave como

Antropoceno, fusão nuclear, reator de fusão e Hélio-3. As aulas são desenvolvidas levando em consideração os conceitos de Ciência, Tecnologia e Sociedade, bem como Questões sócio-científicas. Nesse sentido, os conteúdos a seguir servem como textos introdutórios para inspiração acerca das temáticas sobre a questão do Antropoceno, alternativa energética limpa do hélio-3 e suas reflexões.

4.1 Primeira aula: “Antropoceno, é possível imaginar um futuro não catastrófico?”

Quando se trabalha com uma sequência didática, é fundamental uma discussão inicial com os educandos acerca dos conhecimentos prévios que estes possuem. Nesse sentido, após concluir conteúdos que envolvam o método científico, estequiometria e modelos atômicos, os alunos terão base mínima para a problemática inicial. Desse modo, após concluir os conteúdos descritos, é interessante a discussão inicial sobre a problemática do Antropoceno e possíveis soluções.

O Antropoceno é a era geológica na qual a humanidade se encontra. Com alterações significativas da atividade humana no planeta, intensificadas a partir da Revolução Industrial, consequências como aumento da temperatura global, acidificação dos oceanos e enchentes são apenas alguns sintomas iniciais desse desequilíbrio (Lenton *et al.*, 2024). A maioria das emissões de gases estufa, principalmente do dióxido de carbono (CO₂), é gerada pela atividade antrópica, quer seja pela emissão de indústrias, combustíveis fósseis, queimadas, dentre outros. As concentrações de gases estufa, como o CO₂, aumentaram drasticamente desde a Revolução Industrial, passando de 280 ppm para 416 ppm. Estima-se que até o final do século atinja 600 ppm (Battin *et al.*, 2009; Sun *et al.*, 2023).

Em uma ampla discussão acerca da atividade antrópica, o ciclo do carbono é um processo natural que envolve absorções e trocas no ecossistema (plantas e animais como mediadores), reservatórios de água, solo e atmosfera. A biosfera terrestre e as águas absorvem a maioria do carbono orgânico na Terra. As principais etapas do ciclo do carbono envolvem: fixação de carbono (plantas e outros organismos), respiração (seres vivos), decomposição, ação antrópica e absorção de CO₂ (plantas e oceanos). Desse modo, é importante ressaltar a presença dos animais no ciclo do carbono, ocasionando efeitos dinâmicos ditos zoogeoquímicos, diminuindo ou aumentando as taxas de processos biogeoquímicos (Schmitz *et al.*, 2018). Ressalta-se que essas etapas ocorrem continuamente e em equilíbrio.

Como alternativa de mitigação de gases estufa, considera-se o uso de energias alternativas (eólica, solar, biomassa ou geotérmica) em detrimento das fósseis, que podem amenizar a situação, mas não resolver. É fato que essas atividades são impulsionadas com a ideia de recursos infinitos em um planeta com recursos finitos por meio de produção capitalista global, no qual estamos inseridos. Um equilíbrio entre energias alternativas e consumismo, partindo de um novo modo de produção, faz-se necessário para frear uma nova extinção de boa parte da vida no planeta.

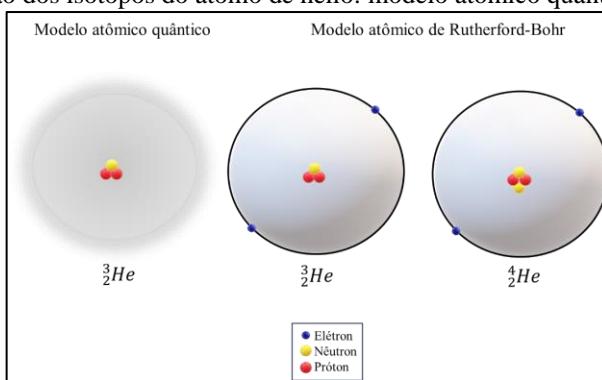
Em um horizonte entre o presente e um futuro próximo, técnicos, cientistas e engenheiros em todo o mundo vislumbram a possibilidade do uso de Hélio-3 como uma alternativa energética para a sociedade global. Ao possuir quantidades significativas deste isótopo e controlar a reação de fusão nuclear, é possível a geração de imensa quantidade de energia limpa (sem emissão de CO₂). Isótopo refere-se a um elemento químico que possui a mesma quantidade de prótons, mas diferentes quantidades de nêutrons.

A Figura 1 ilustra representações dos modelos atômicos quânticos (densidade de probabilidades) e de Rutherford-Bohr (com órbitas atômicas) para os principais isótopos do He: ^3_2He . De acordo com a nomenclatura anteriormente descrita, o elemento químico hélio possui 2 prótons, o hélio 3 (um nêutron) e o hélio 4 (dois nêutrons). Essa relação é assim exposta pela simples Equação 1, onde A é a massa atômica, Z é o número atômico (ou número de prótons) e n o número de nêutrons. Sabendo o valor de duas variáveis, é possível encontrar a terceira.

$$A = Z + n \quad (\text{Equação 1})$$

Nesta etapa, torna-se interessante uma rápida discussão diferenciando os modelos atômicos e suas limitações: modelo de Rutherford (colapso devido às cargas negativas e positivas), Bohr (explica apenas o átomo de hidrogênio) e quântico (a partir da função de onda de Schrödinger).

Figura 1 – Representação dos isótopos do átomo de hélio: modelo atômico quântico e de Rutherford-Bohr.



Fonte: Produção do autor (2024).

Desse modo, o núcleo atômico é um sistema quântico contendo prótons e nêutrons, que se mantêm unidos devido à presença de forças nucleares. Para manter essa coesão entre prótons e nêutrons, existem as forças nucleares fortes e fracas. A força nuclear forte é responsável por manter os prótons e nêutrons unidos no núcleo atômico em um estado de equilíbrio. Essa força é extremamente poderosa em curtas distâncias, mas diminui drasticamente à medida que se afasta do núcleo. Trata-se da força responsável pela grande liberação de energia em reações nucleares (fusão e fissão). Por outro lado, a força nuclear fraca está diretamente relacionada a tipos de decaimentos que ocorrem no núcleo, como o decaimento radioativo beta. (Zhonglin, 2022)

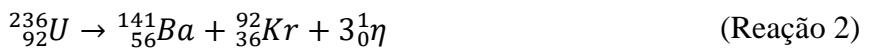
4.2 Segunda aula: “Replicando a energia das estrelas em reações controladas de fusão nuclear, ${}^3\text{He}$ o combustível do futuro”

O papel da ciência é fundamental para a investigação e aplicação dessas tecnologias, quer seja para domínio da reação de fusão, quer seja para exploração de minérios contendo ${}^3\text{He}$ presentes na Lua. De diversas perspectivas, o problema do Antropoceno e possíveis soluções são viáveis a partir da ciência e consciência social. Para tanto, com problemáticas complexas, os fundamentos abordados em aulas básicas de ciências da natureza e suas tecnologias são o despertar para novas gerações empenhadas em modificar o Antropoceno.

A fissão nuclear é uma reação que ocorre no núcleo atômico. Essa tecnologia já é bastante conhecida, utilizada desde o século XX, inclusive no Brasil, nas usinas de Angra (Rio de Janeiro). A primeira usina nuclear a entrar em operação no mundo foi inaugurada no ano de 1954, em Obninsk, na extinta União Soviética (Lukashenko *et al.*, 2024). Existem cerca de 440 usinas nucleares em atividade pelo mundo, segundo a Agência Internacional de Energia Atômica (2024).

Dentro desse contexto, o processo de fissão nuclear ocorre em um reator a partir do bombardeamento de átomos com nêutrons para atingir o núcleo do átomo, fissionando-o e liberando energia (Schunck; Regnier, 2022). Essa sequência é representada pelas Reações 1 e 2, nas quais o átomo de urânio 235 é bombardeado por um nêutron, gerando a espécie de urânio 236, que é fissionado em Ba e Kr, por sua vez, liberando mais nêutrons que vão propagando a reação em cadeia. Ou seja, todo o processo ocorre em uma sequência de iniciação

(bombardamento com nêutron), propagação (reação em cadeia) e terminação (quando o reagente urânio 235 é totalmente consumido).



A energia liberada na fissão nuclear ocorre na forma de calor, por meio de uma superfície diatérmica entre o reator e a água que circula este reator (externamente). Uma vez que é gerado vapor d'água, este é direcionado para as turbinas que vão gerar eletricidade, a qual será posteriormente distribuída para a rede elétrica. O problema maior da reação de fissão é o lixo nuclear gerado após o processo. Como alternativa sustentável, considera-se o “combustível do futuro” o Hélio-3, que participa de outro tipo de reação nuclear: a fusão.

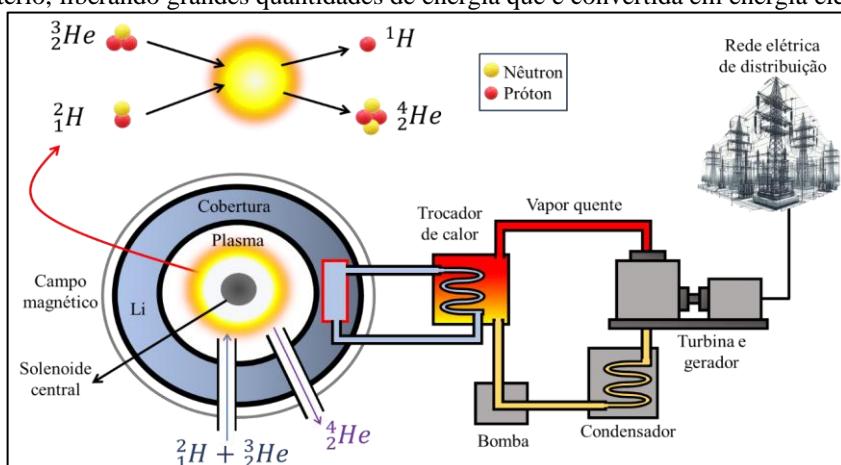
A fusão nuclear é a junção de dois núcleos atômicos leves, formando um elemento mais pesado e liberando quantidades enormes de energia. Para a reação ocorrer, os núcleos precisam estar tão próximos, de sorte que a repulsão elétrica mútua seja superada (maior força nuclear atrativa), permitindo a fusão nuclear (Li *et al.*, 2016). Por exemplo, a partir da reação entre deutério (${}_1^2H$) e trítio (${}_1^3H$), isto é, isótopos do hidrogênio, conforme a Reação 3, forma-se o hélio. Tais reações são de interesse, pois não possuem riscos radioativos. Ademais, o subproduto de alta energia (o próton, p^+) pode ser contido por campos eletromagnéticos. A Reação 4 apresenta a fusão de deutério com hélio 3, liberando energia, 4He e um próton.



A arquitetura de um reator de fusão nuclear é conhecida como “Tokamak”, originado de um acrônimo russo entre “corrente elétrica” (ток) e “magnético” (магнитный), descrevendo de forma sucinta a tecnologia desse tipo de reator. Na operação, o deutério é superaquecido em milhares de graus Celsius e se torna plasma (gás altamente quente e energético com propriedades únicas), também conhecido como o 4º estado da matéria além do gasoso, líquido e sólido (Leonov *et al.*, 2021). Nesta situação, os elétrons são arrancados do núcleo (são ionizados), tornando o plasma rico em partículas altamente carregadas, que pode ser guiado por campos magnéticos. Assim, não se torna necessário um material resistente a temperaturas extremas, uma vez que o plasma não toca nas paredes do reator. Desse modo, são necessárias condições severas e temperaturas extremamente elevadas ($\sim 1 \times 10^8$ °C) para a reação ocorrer, tal como acontece em reações estelares, como no Sol de nossa galáxia. (Azizov, 2012)

A Figura 2 apresenta um esquema simplificado da reação de fusão entre núcleos atômicos de ^3He e ^2H em reator Tokamak, seguido da conversão dessa energia nuclear liberada em energia elétrica (Holgate, 2022). Na cobertura do reator ocorre a presença do elemento químico lítio (Li), revestindo as paredes internas do reator. O Li tem a função de atrair isótopos da reação, como o tritão, sendo possível recuperar o ^3H para posterior uso. Além disso, o Li possui propriedades autolimpantes (removendo impurezas do plasma) e melhorando a qualidade do confinamento magnético. Apesar da possibilidade de reação, a tecnologia ainda está em desenvolvimento. No entanto, existe o projeto International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER), localizado na França. Trata-se de uma iniciativa de cooperação internacional para obtenção de energia, partindo da fusão nuclear (Geng, 2022). A vantagem está relacionada à possibilidade de produzir abundância de energia sem riscos de acidente nuclear, uma vez que os reagentes e produtos da reação não são radioativos, e o principal produto da reação é o hélio-4, o qual possui diversas aplicações.

Figura 2 – Representação simplificada da reação nuclear de fusão em reator Tokamak entre núcleos de ^3He e deutério, liberando grandes quantidades de energia que é convertida em energia elétrica.



Fonte: Produção do autor (2024).

Além disso, é necessária uma quantidade significativa de Hélio-3 para aplicação. Outro agravo é que quantidades significativas de Hélio-3 não ocorrem no planeta Terra, embora estudos indiquem que ocorrem grandes quantidades de ^3He nas rochas lunares (Giraldo *et al.*, 2013). Portanto, como conseguir quantidade suficiente deste material na Lua? Certamente, partindo-se da ciência.

Uma vez que a humanidade consiga controlar todos os detalhes acerca da reação de fusão nuclear e distribua energia limpa, faz-se necessária uma visão crítica sobre todos os

processos. Primeiramente, as fontes de ${}^3\text{He}$ estão presentes na Lua, ocasionando uma nova corrida espacial. Tecnologias para mineração de ${}^3\text{He}$ também são a cada dia implementadas. Algumas sugestões indicam a utilização de robôs mineradores, bases, estações espaciais e expedições com humanos no satélite natural. Em um cenário ideal, a união de tecnologias entre as nações poderia garantir mudanças de fontes de energia para enfrentar o antropoceno. Mesmo com a tecnologia implantada, é preciso ainda a utilização crítica de outros produtos que continuariam a destruir os ecossistemas terrestres e marinhos (plásticos, rejeitos industriais e metropolitanos, queimadas, expansão urbana, etc.).

Acredita-se que a utilização de energia limpa e com produção suficiente para alimentar a rede elétrica de nossas cidades, oriunda da fusão nuclear, resolveria o problema da poluição por combustíveis fósseis e derivados menos agressivos. Novos desafios necessitarão de análise. Por exemplo, será que produzir energia suficiente por fusão nuclear levaria a um consumo ainda maior de energia? O modo de produção capitalista e neoliberal parte do princípio de produção crescente com vistas ao lucro infinito, porém, o Antropoceno indica que a natureza tem seus recursos finitos, ou, de acordo com Mark Fisher (2020), seria mais fácil imaginar o fim do mundo do que o fim do capitalismo? Ou um modo de produção alternativo com consciência de classe e sustentável seria uma via factível? De todo modo, o papel da ciência e tecnologia para soluções de problemas dessa natureza necessita de profundas reflexões sobre a vida humana, sua relação e impacto no planeta.

4.3 Terceira aula: “Avaliação do aprendizado e reflexão sobre o processo de ensino-aprendizagem”

Uma vez concluída a SD, torna-se necessário avaliar a perspectiva dos educandos acerca de toda a discussão. Vale ressaltar a importância de o docente elaborar avaliações diagnóstica, formativa e somativa, isto é, pensadas em toda a aplicação desta sequência didática. A partir do conjunto dessas três avaliações, o docente perceberá o nível alcançado em diferentes momentos durante a SD (Miquelante *et al.*, 2017). Nesse sentido, durante a introdução do tema (avaliação diagnóstica), o docente pode perceber o nível de compreensão dos educandos sobre conteúdos prévios necessários nas discussões iniciais, fazendo breves revisões.

Inicialmente, os conteúdos discutidos podem estar difusos e com caráter espontâneo em meio ao fervor dos primeiros momentos da sequência didática. Com o decorrer das aulas,

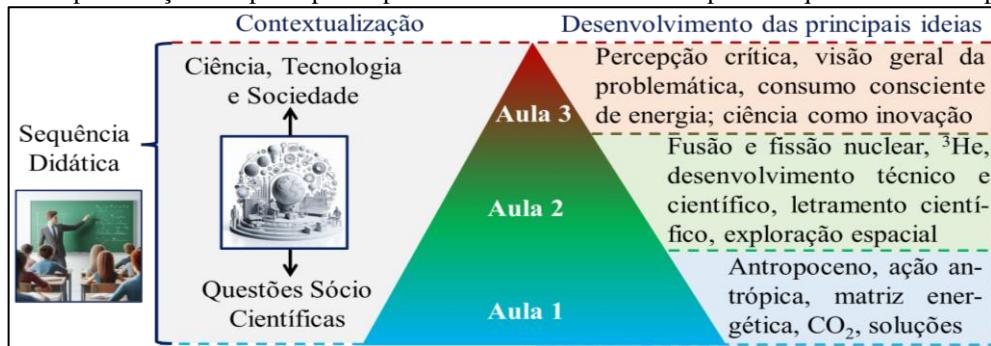
os alunos vão desmistificando o senso comum, ao perceberem, a partir da ciência básica, que a questão do Antropoceno e da fusão nuclear são palpáveis no mundo real (Tavares *et al.*, 2023). Exaltar o papel da ciência básica e seus fundamentos é imprescindível para estimular os educandos. Este processo ocorre por meio da relação entre CTS e QSC, envolvendo os diferentes tópicos abordados e discutidos na interação aluno-professor.

A avaliação formativa parte do acompanhamento progressivo do educando no desenvolvimento de suas capacidades cognitivas, em constante observação docente (Menegolla, 1991). Desse modo, processos inter-relacionados envolvendo comunicação (docente-discente), coleta de informações e interpretações, fornecem indícios da ação docente, que, por sua vez, deve procurar aperfeiçoar a regulação da aprendizagem (Silva *et al.*, 2020).

Além disso, a avaliação somativa torna-se importante para identificar a capacidade de síntese do educando. Por meio de um questionário, é possível verificar o nível de conhecimento, habilidades e competências desenvolvidas. O resultado da avaliação somativa também reflete o papel docente, indicando onde sua prática deve ser aperfeiçoada.

A Figura 3 apresenta uma síntese da SD proposta e dos principais objetivos que se desejam alcançar até o final desta prática. O desenvolvimento das ideias evolui durante o progresso das aulas. Inicia-se pela base da pirâmide (conhecimento inicial e espontaneísta), introduzindo conceitos (problemática e letramento científico), desenvolvimento das ideias (por meio da ciência e tecnologia) até uma possível aplicação destes conhecimentos na fusão nuclear e consumo consciente de energia (visão crítica da realidade). Envolto neste desenvolvimento, incluem-se as ideias que contextualizam e perpassam toda a discussão, isto é, a importância da Ciência, Tecnologia e Sociedade, bem como as Questões Sociocientíficas. Afinal, o desenvolvimento científico deve objetivar um contraponto à questão do antropoceno, resultando em uma melhor condição de vida para a sociedade. Além disso, em níveis mais altos de reflexão (Sjöström 2013), essa SD pode estimular o pensamento questionador acerca do modo de produção capitalista e uma possível solução por meio do uso de energia sem emissão de CO₂ vinda da fusão nuclear.

Figura 3 – Representação dos principais aspectos envolvidos em cada etapa da Sequência Didática proposta.



Espera-se, de maneira geral, que ao final desta prática os educandos percebam a importância do tema e se sintam inspirados em estudar os conteúdos básicos de ciência, sua relevância para o futuro da humanidade e a apropriação crítica desses conhecimentos. Isto é, que seja cognoscível. Como a sequência didática foi planejada para aplicação sobre a questão do Antropoceno e da fusão nuclear, espera-se que gere conhecimento significativo e crítico, para além de conceitos pouco fundamentados e sem práxis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A discussão geral acerca do Antropoceno e da possível solução a partir da fusão nuclear apresentada neste artigo possibilita a aplicação de uma proposta de Sequência Didática multidisciplinar e contextualizada com diversas perspectivas. Para a aplicação desta SD, torna-se indispensável uma discussão envolvendo Ciência, Tecnologia e Sociedade, bem como Questões Sociocientíficas. Além disso, esta sequência objetiva o letramento científico dos educandos partindo de práticas críticas da realidade no contexto do colapso global da ação antrópica. Para tanto, torna-se necessária também uma perspectiva crítica do docente.

Embora já nos encontremos em um ponto crítico no contexto do Antropoceno, resultado de séculos de atividades antrópicas, este trabalho tem como objetivo principal discutir possíveis soluções sustentáveis por meio da divulgação e aplicação científica. Nesse sentido, como uma alternativa real em detrimento desta situação, o uso de energia de fusão nuclear pode contribuir para um ponto de inflexão e esperança. Acredita-se na produção de energia sem emissão de CO₂ por milhares de anos e sem resíduos radioativos, ao contrário da fissão nuclear. As discussões que perpassam CTS e QSC sobre toda a temática nesta SD devem despertar insights

e perspectivas críticas nos discentes. Assim, os conteúdos presentes no currículo devem ser ministrados ressaltando a sua fundamental importância na aplicação palpável em futuro próximo com a utilização de reações de fusão nuclear. O aprendizado significativo e fundamentado com aplicação na realidade pode despertar motivação e gerar um conhecimento sólido que supere o senso comum e se torne científico, apropriado criticamente. Alcançar este objetivo por meio desta SD é o ponto maior, uma vez que a perspectiva científica-crítica e humanista engloba níveis superiores do saber.

Por fim, questões reflexivas devem ser tratadas sobre o uso da energia provinda da fusão nuclear, de maneira que esta esteja associada a uma nova forma de modo de produção. Observa-se que a mudança de matriz energética sustentável e eficiente deve ser também revista em seu uso, afinal, em seu cerne, o Antropoceno é fruto do modo de produção capitalista. Emergir uma nova relação do modo de produção em maior equilíbrio com a biosfera deve ser o principal fator ante o Antropoceno. O começo de mudanças radicais deve partir da educação científica desde o ensino médio, formando cidadãos conscientes, éticos, participativos e com consciência social-científica-crítica.

REFERÊNCIAS

Agência Internacional de Energia Atômica. Disponível em: <https://www.iaea.org/>. Acesso em: 25 de maio de 2024.

AZIZOV, E. A. TOKAMAKS: from A D Sakharov to the present (the 60-year history of tokamaks). **Physics-Uspekhi**, v. 55, n. 2, p. 190, 2012.
<https://doi.org/10.3367/UFNe.0182.201202j.0202>.

BAINS, P.; PSARRAS, P.; WILCOX, J. CO₂ capture from the industry sector. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 63, p. 146-172, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.07.001>.

BARBOSA, F. Sem química? O “novo” ensino médio e o (des)letramento científico como projeto. **Revista Interdisciplinar em Ensino de Ciências e Matemática**, v. 3, n. 1, p. e23005-e23005, 2023. <https://doi.org/10.20873/riecim.v3i1.17121>.

BATTIN, T. J., LUYSSAERT, S., KAPLAN, L. A., AUFDENKAMPE, A. K., RICHTER, A., & TRANVIK, L. J. The boundless carbon cycle. **Nature Geoscience**, v. 2, n. 9, p. 598-600, 2009. <https://doi.org/10.1038/ngeo618>.

BRASIL. MEC. Base Nacional Comum Curricular: Educação é a base. Brasília, 2017. Disponível em:

http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wpcontent/uploads/2018/06/BNCC_EnsinoMedio_em_baixa_site_110518.pdf. Acesso em: 14 de maio de 2024.

BRASIL. Parecer CNE/CEB nº 3, de 8 de novembro de 2018, homologado pela Portaria MEC nº 1.210. Diário Oficial da União, Brasília/DF, 2018. Disponível em:
<http://portal.mec.gov.br/docman/novembro-2018-pdf/102481-rceb003-18/file>. Acesso em: 31 maio 2024.

BRITO, J. Q. A.; SÁ, L. P. Estratégias promotoras da argumentação sobre questões sócio-científicas com alunos do ensino médio. **Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, v. 9, n. 3, 2010.

CARVALHO, A. M. P. de *et al.* O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas. Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: **Cengage Learning**, v. 1, p. 1-19, 2013.

CONRADO, D. M.; NUNES-NETO, N. Questões sociocientíficas: fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas. **Edufba**, 2018.
<https://doi.org/10.7476/9788523220174>

DOS SANTOS, M. M.; BARBOSA, N. do N.; SANTANA, I. C. H. Sequência didática investigativa: uma experiência pedagógica nas aulas de ciências. **Ensino em Perspectivas**, v. 2, n. 3, p. 1-13, 2021.

FERREIRA, A. S.; SOUZA, L. C. A. B.; DO NASCIMENTO GOMES, M.; BARTH, A. A evolução dos estudos sobre questões sociocientíficas: caracterização dos trabalhos apresentados em eventos brasileiros da área de ensino de ciências. South American Development Society Journal, v. 6, n. 18, p. 257, 2020. <https://doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v6i18p257-272>

FISHER, M. **Realismo capitalista: é mais fácil imaginar o fim do mundo do que o fim do capitalismo?**. Autonomia literária, 2020.

GENG, S. An Overview of the ITER Project. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, p. 012012, 2022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2386/1/012012>.

GENOVESE, C. L. de C. R.; GENOVESE, L. G. R.; DE CARVALHO, W. L. P. Questões sociocientíficas: origem, características, perspectivas e possibilidades de implementação no ensino de ciências a partir dos anos iniciais do Ensino Fundamental. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 15, n. 34, p. 8-17, 2019.

GIRALDO, W.; TOBÓN, J. I. Extraterrestrial minerals and future frontiers in mineral exploration. **DYNA**, [S. l.], v. 80, n. 182, p. 83–87, 2013. Disponível em:
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/32590>. Acesso em: 31 mai. 2024.

HOLGATE, S. A. **Nuclear fusion: the race to build a mini-sun on earth**. 2022. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022nfrb.book....H/abstract>. Acesso em: 31 mai. 2024.

HU, H.; CHEN, J.; ZHOU, F.; NIE, M.; HOU, D.; LIU, H.; LIANG, Y. Relative increases in CH₄ and CO₂ emissions from wetlands under global warming dependent on soil carbon substrates. **Nature Geoscience**, v. 17, n. 1, p. 26-31, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01345-6>.

KEYS, P. W.; GALAZ, V.; DYER, M.; MATTHEWS, N.; FOLKE, C.; NYSTRÖM, M.; CORNELL, S. E. Anthropocene risk. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 8, p. 667-673, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0327-x>.

LAAKSO, S.; HEISKANEN, E.; MATSCHOSS, K.; APAJALAHTI, E. L.; FAHY, F. The role of practice-based interventions in energy transitions: a framework for identifying types of work to scale up alternative practices. **Energy Research & Social Science**, v. 72, p. 101861, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101861>.

LENTON, T. M.; SCHEFFER, M. Spread of the cycles: a feedback perspective on the Anthropocene. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 379, n. 1893, p. 20220254, 2024. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0254>.

LEONOV, V. M.; KONOVALOV, S. V.; ZHOGOLEV, V. E.; KAVIN, A. A.; KRASILNIKOV, A. V.; KUYANOV, A. Y.; KHAYRUTDINOV, R. R. Scenarios of Discharge in a Tokamak with Reactor Technologies. **Plasma Physics Reports**, v. 47, p. 1107-1118, 2021. <https://doi.org/10.1134/S1063780X21120047>.

LI, C.; FENG, C. L.; ODERJI, H. Y.; LUO, G. N.; DING, H. B. Review of LIBS application in nuclear fusion technology. **Frontiers of Physics**, v. 11, p. 1-16, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11467-016-0606-1>.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. **Em Aberto**, v. 5, n. 31, 1986.

LUKASHENKO, S. N.; KURBAKOV, D. N.; TOMSON, A. V.; EDOMSKAYA, M. A.; MIKHAILOV, A. V. Development of methodology for identification and assessment of ecosystems with an underground source of tritium. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 274, p. 107399, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jenrad.2024.107399>.

MATIAS, E. F.; SOUZA, V. C. de S. Análise de uma sequência didática investigativa com o foco no estudo das questões químicas e sociais relacionadas às bebidas alcóolicas. **REAMEC-Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, v. 12, p. e24012-e24012, 2024. <https://doi.org/10.26571/reamec.v12.16135>.

MENEGOLLA, M.; SANT'ANNA, I. M. **Por que avaliar? Como planejar? Currículo-área-aula.** 1. Ed. Petrópolis: Ed. Vozes, 1991.

MIQUELANTE, M. A.; PONTARA, C. L.; CRISTOVÃO, V. L. L.; SILVA, R. O. D. As modalidades da avaliação e as etapas da sequência didática: articulações possíveis. **Trabalhos em Linguística Aplicada**, v. 56, p. 259-299, 2017. <https://doi.org/10.1590/010318135060199881>.

MORENO, V. M.; SUZART, E. M. L.; SANTOS, W. de S. Ensino para o Antropoceno: uma proposta de sequência didática para o ensino de redes ecológicas através do jogo Rain World. **Debates em Educação**, v. 12, n. 27, p. 576-592, 2020. <https://doi.org/10.28998/2175-6600.2020v12n27p576-592>

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A.. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 13, p. 71-84, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132007000100005>

ROBERT, M. Running the clock: CO₂ catalysis in the age of anthropocene. **ACS Energy Letters**, v. 1, n. 1, p. 281-282, 2016. <https://doi.org/10.1021/acsenergylett.6b00159>.
SAGAN, C. Cosmos, **Companhia das letras**, 2013.

SANTOS, G. C. dos. **A aplicação de uma sequência didática de modo a otimizar a aprendizagem do conteúdo de fusão nuclear utilizando como tema gerador a evolução estelar**. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Educação e Ciências, Universidade Federal de Itajubá, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/3856>. Acesso em: 1 set. 2024.

SANTOS, W. L. P. Contextualização no Ensino de Ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência & Ensino**, Piracicaba, v. 1, número especial, 2007.

SARMENTO, A. C. de H. **Ensinando sobre aquecimento global por meio de uma abordagem contextualizada pelas relações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente no ensino médio de biologia**. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/34890>. Acesso em: 1 set. 2024.

SCHMITZ, O. J.; WILMERS, C. C.; LEROUX, S. J.; DOUGHTY, C. E.; ATWOOD, T. B.; GALETTI, M.; GOETZ, S. J. Animals and the zoogeochemistry of the carbon cycle. **Science**, v. 362, n. 6419, p. eaar3213, 2018. <https://doi.org/10.1126/science.aar3213>.

SCHUNCK, N.; REGNIER, D. Theory of nuclear fission. **Progress in Particle and Nuclear Physics**, v. 125, p. 103963, 2022.

SILVA, V. R. da; LORENZETTI, L. Scientific literacy in the early years: indicators evidenced by a didactic sequence. **Educação e Pesquisa**, v. 46, p. e222995, 2020. <https://doi.org/10.1590/S1678-4634202046222995>

SIMKO, T.; GRAY, M. Lunar helium-3 fuel for nuclear fusion: Technology, economics, and resources. **World Future Review**, v. 6, n. 2, p. 158-171, 2014. <https://doi.org/10.1177/19467567145361>.

SJÖSTRÖM, J. Towards Bildung-oriented chemistry education. **Science & Education**, v. 22, p. 1873-1890, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9401-0>

SUN, B., DAI, M., CAI, S., CHENG, H., SONG, K., YU, Y.; HU, H. Challenges and strategies towards copper-based catalysts for enhanced electrochemical CO₂ reduction to multi-carbon products. **Fuel**, v. 332, p. 126114, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126114>.

TAVARES, R.; FARIAS, M. J. G. dos S.; SANTOS, L. L. M.; ALENCAR, E. P. G. Perspectiva de discentes do curso de química sobre o senso comum na aprendizagem. **Ensino & Pesquisa**, v. 21, n. 3, p. 63-75, 2023. <https://doi.org/10.33871/23594381.2023.21.3.7377>.

WILLIS, M. L. M.; BRAVO, E. A. T.; BERNAL, E. U. Una mirada global a la evaluación formativa. **Horizontes Revista de Investigación en Ciencias de la Educación**, v. 8, n. 32, p. 306-321, 2024. <https://doi.org/10.1590/1516-731320200026>.

ZHONGLIN, B. O. The Intrinsic Nature of Strong Force to Bind Proton (s) and Neutron (s) to Form Nucleus and the Exploration of Nuclear Reaction. **International Journal of Physics**, v. 10, n. 3, p. 137-143, 2022. <https://doi.org/10.12691/ijp-10-3-2>.

APÊNDICE 1 – INFORMAÇÕES SOBRE O MANUSCRITO

AGRADECIMENTOS

Não se aplica.

FINANCIAMENTO

Não houve financiamento.

CONTRIBUIÇÕES DE AUTORIA

Resumo/Abstract/Resumen: Felipe Fernandes Barbosa, Ellen Kadja Lima de Moraes, Viviane de Oliveira Campos.
Introdução: Felipe Fernandes Barbosa, Ellen Kadja Lima de Moraes, Viviane de Oliveira Campos.

Referencial teórico: Felipe Fernandes Barbosa.

Análise de dados: Felipe Fernandes Barbosa.

Discussão dos resultados: Felipe Fernandes Barbosa, Ellen Kadja Lima de Moraes, Viviane de Oliveira Campos.

Conclusão e considerações finais: Felipe Fernandes Barbosa, Ellen Kadja Lima de Moraes, Viviane de Oliveira Campos.

Referências: Felipe Fernandes Barbosa

Revisão do manuscrito: Ellen Kadja Lima de Moraes, Viviane de Oliveira Campos.

Aprovação da versão final publicada: Felipe Fernandes Barbosa, Ellen Kadja Lima de Moraes, Viviane de Oliveira Campos

CONFLITOS DE INTERESSE

O autor declara não haver nenhum conflito de interesse de ordem pessoal, comercial, acadêmica, política e financeira referente a este manuscrito.

DISPONIBILIDADE DE DADOS DE PESQUISA

Os dados desta pesquisa não foram publicados em Repositório de Dados, mas os autores se comprometem a socializá-los caso o leitor tenha interesse.

PREPRINT

Não publicado.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Não se aplica.

COMO CITAR - ABNT

BARBOSA, Felipe Fernandes; CAMPOS, Viviane de Oliveira; MORAIS, Ellen Kadja Lima de. Hélio-3 como fonte energética na era do Antropoceno: proposta de sequência didática. **REAMEC – Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**. Cuiabá, v. 12, e24095, jan./dez., 2024. <https://doi.org/10.26571/reamec.v12.17837>

COMO CITAR - APA

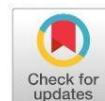
Barbosa, F. F., Campos, V. de O., Moraes, E. K. L. de. (2024). Hélio-3 como fonte energética na era do Antropoceno: proposta de sequência didática. *REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática*, 12, e24095. <https://doi.org/10.26571/reamec.v12.17837>

DIREITOS AUTORAIS

Os direitos autorais são mantidos pelos autores, os quais concedem à Revista REAMEC – Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática - os direitos exclusivos de primeira publicação. Os autores não serão remunerados pela publicação de trabalhos neste periódico. Os autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não exclusiva da versão do trabalho publicado neste periódico (ex.: publicar em repositório institucional, em site pessoal, publicar uma tradução, ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial neste periódico. Os editores da Revista têm o direito de realizar ajustes textuais e de adequação às normas da publicação.

POLÍTICA DE RETRATAÇÃO - CROSSMARK/CROSSREF

Os autores e os editores assumem a responsabilidade e o compromisso com os termos da Política de Retratação da Revista REAMEC. Esta política é registrada na Crossref com o DOI: <https://doi.org/10.26571/reamec.retratacao>



OPEN ACCESS

Este manuscrito é de acesso aberto ([Open Access](#)) e sem cobrança de taxas de submissão ou processamento de artigos dos autores (*Article Processing Charges – APCs*). O acesso aberto é um amplo movimento internacional que busca conceder acesso online gratuito e aberto a informações acadêmicas, como publicações e dados. Uma publicação é definida como 'acesso aberto' quando não existem barreiras financeiras, legais ou técnicas para acessá-la - ou seja, quando qualquer pessoa pode ler, baixar, copiar, distribuir, imprimir, pesquisar ou usá-la na educação ou de qualquer outra forma dentro dos acordos legais.



LICENÇA DE USO

Licenciado sob a Licença Creative Commons [Attribution-NonCommercial 4.0 International \(CC BY-NC 4.0\)](#). Esta licença permite compartilhar, copiar, redistribuir o manuscrito em qualquer meio ou formato. Além disso, permite adaptar, remixar, transformar e construir sobre o material, desde que seja atribuído o devido crédito de autoria e publicação inicial neste periódico.



VERIFICAÇÃO DE SIMILARIDADE

Este manuscrito foi submetido a uma verificação de similaridade utilizando o software de detecção de texto [iTenticate](#) da Turnitin, através do serviço [Similarity Check](#) da Crossref.



PUBLISHER

Universidade Federal de Mato Grosso. Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática (PPGECEM) da Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática (REAMEC). Publicação no [Portal de Periódicos UFMT](#). As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da referida universidade.



EDITOR

Dailson Evangelista Costa  

AVALIADORES

Wanderson Diogo Andrade da Silva  

Geison Jader Mello  

Avaliador 3: não autorizou a divulgação do seu nome.

HISTÓRICO

Submetido: 08 de junho de 2024.

Aprovado: 27 de agosto de 2024.

Publicado: 30 de dezembro de 2024.
