Artigo original

Uma abordagem sociocientífica sobre mineração e mudanças climáticas

A socio-scientific approach to mining and climate change

Un enfoque sociocientífico de la minería y el cambio climático

Andreson Soares Viana[1], Ademir de Souza Pereira[2]

Citação: Viana, S. A., & Pereira, A. S. (2026). Uma abordagem sociocientífica sobre mineração e mudanças climáticas. *Tangram:* Revista de Educação Matemática, *Volume 9*, e026023. https://doi.org/10.30612/tangram.v9i1.21637

Editores: Prof. Dr. Ademir de Souza Pereira – UFGD/Brasil e Prof. Dr. Leonardo Fábio Martinez Perez – UPN/Colômbia.

Recebido: 28/05/2026
Aceito: 13/09/2026
Publicado: 14/10/2026

Texto sobre copyright.

Três Criativos Agência Design
Diagramação

1. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Licenciado em Química, Doutorando em Ensino de Ciências (UFMS)
2. Universidade Federal da Grande Dourados, Licenciado em Química e Doutor em Educação para a Ciência (Unesp/Bauru)

*autor correspondente: andreson.soares@ufms.br

Resumo: Esta pesquisa teve como objetivo investigar a manifestação das compreensões sociocientíficas de estudantes do ensino médio e de que forma mobilizam conhecimentos científicos para a tomada de decisão frente aos impactos socioambientais da mineração associados às mudanças climáticas. Utilizando abordagem qualitativa e observação participante, aplicou-se uma Sequência de Ensino Investigativa fundamentada em Questões Sociocientíficas (QSC) em uma escola rural de Parauapebas/PA. Os resultados revelaram que, embora os estudantes tenham demonstrado habilidades de pensamento crítico, tomada de decisão e autonomia ao proporem soluções éticas e políticas, como a preservação de terras indígenas, a fiscalização rigorosa contra garimpos ilegais e a gestão tecnológica de resíduos, eles apresentaram dificuldades em estabelecer uma conexão direta entre a atividade mineradora e as mudanças climáticas globais. Portanto, o uso de QSC constitui uma estratégia promissora para o desenvolvimento do pensamento crítico e do pliensamento socioambiental, mas evidencia-se a necessidade de práticas de ensino que promovam a aprendizagem sobre as mudanças climáticas, conectando fenômenos globais aos impactos da mineração.

Palavras-chave: Mineração. Questões Sociocientíficas. Mudanças Climáticas.

Abstract: This study aimed to investigate the socioscientific understandings of high school students and how they mobilize scientific knowledge to make decisions regarding the socio-environmental impacts of mining in the context of climate change. Employing a qualitative approach and participant observation methodology, an Inquiry-Based Teaching Sequence grounded in Socioscientific Issues (SSI) was implemented at a rural school in Parauapebas, Pará. The results revealed that, although students demonstrated critical thinking, decision-making skills, and autonomy by proposing ethical and political solutions, such as the preservation of Indigenous lands, strict oversight of illegal mining operations, and technological waste management, they struggled to establish a direct link between mining activities and global climate change. Therefore, while the use of SSI is a promising strategy for fostering critical and socio-environmental thinking, there is a clear need for teaching practices that promote learning about climate change by connecting global phenomena to the impacts of mining.
Keywords: Mining. Socio-scientific issues. Climate change.

Resumen: Este estudio tuvo como objetivo investigar las concepciones sociocientíficas de estudiantes de educación secundaria y cómo movilizan conocimientos científicos para tomar decisiones sobre los impactos socioambientales de la minería en el contexto del cambio climático. Mediante un enfoque cualitativo y una metodología de observación participante, se implementó una secuencia didáctica basada en la indagación y fundamentada en Cuestiones Sociocientíficas (CSC) en una escuela rural de Parauapebas, Pará. Los resultados revelaron que, si bien los estudiantes demostraron pensamiento crítico, habilidades de toma de decisiones y autonomía al proponer soluciones éticas y políticas, tales como la preservación de tierras indígenas, la fiscalización estricta de operaciones mineras ilegales y la gestión de residuos tecnológicos, tuvieron dificultades para establecer un vínculo directo entre las actividades mineras y el cambio climático global. Por consiguiente, aunque el uso de CSC constituye una estrategia prometedora para fomentar el pensamiento crítico y socioambiental, existe una clara necesidad de implementar prácticas docentes que promuevan el aprendizaje sobre el cambio climático conectando los fenómenos globales con los impactos de la minería.
Palabras clave: Minería. Cuestiones sociocientíficas. Cambio climático.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No contexto da educação em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), as Questões Sociocientíficas (QSC) são indispensáveis para dar um sentido prático ao ensino (Reis, 2013). Consideradas como estratégias pedagógicas, são um ponto de conexão entre o que é ensinado na escola e o que acontece no mundo real, tornando a sala de aula um espaço de discussão sobre as consequências e as vantagens do avanço científico e tecnológico.

Os aspectos ambientais estão intrinsecamente ligados às QSC, uma vez que o avanço tecnológico pode acarretar danos ao meio ambiente, o que torna necessário propor soluções para minimizar esses problemas (Sadler, 2005).

Nesse cenário, a mineração estabelece-se como uma QSC de grande proporção. Embora seja essencial para a manutenção da vida moderna, seus impactos severos contribuem diretamente para as mudanças climáticas. Tais alterações são caracterizadas por distúrbios sistêmicos no clima global, manifestando-se por meio de enchentes, estiagens prolongadas, anomalias térmicas e intensificação de eventos extremos, como furacões e o acelerado derretimento das calotas polares (Tassara & Rutkowski, 2008).

A mineração, enquanto uma QSC, pode ser utilizada em sala de aula como estratégia para o ensino de ciências, possibilitando o desenvolvimento de habilidades argumentativas, tomada de decisão e pensamento crítico, competências fundamentais defendidas por Martínez-Pérez e Carvalho (2012) e Conrado e Nunes-Neto (2018).

A utilização de QSC no ensino médio é uma possibilidade para uma formação cidadã, principalmente quando aliadas a temáticas que envolvem a realidade dos alunos (Conrado & Nunes-Neto, 2018). Dessa forma, a mineração como uma QSC favorece uma formação crítica para a resolução de problemas reais. Ela permite compreender os conhecimentos que permeiam essa atividade, como a relação entre a extração mineral, o desmatamento e as mudanças climáticas (Pereira & Carvalho, 2020).

Nesse contexto, esta pesquisa foi desenvolvida com estudantes do ensino médio de uma escola pública estadual do município de Parauapebas/PA e buscou averiguar as relações existentes entre a mineração, enquanto uma QSC, e as habilidades desenvolvidas pelos estudantes ao longo de uma sequência de

ensino investigativo. O objetivo, portanto, foi investigar como se manifestam as compreensões sociocientíficas e de que forma mobilizariam conhecimentos científicos para a tomada de decisão frente aos impactos socioambientais da mineração associados às mudanças climáticas.

MINERAÇÃO COMO QUESTÃO SOCIOCIENTÍFICA

As QSC possuem base científica e abordam problemas complexos, controversos e abertos, que se estabelecem na interface entre o conhecimento científico e a sociedade. Tais temas envolvem a formação de opiniões, o julgamento de valor e a tomada de decisão, sendo amplamente divulgados pela mídia e manifestando-se em dimensões locais, nacionais ou globais. Além disso, os aspectos éticos e morais são inerentes a essas questões, relacionando-se à busca por um desenvolvimento científico e tecnológico mais sustentável (Ratcliffe & Grace, 2003).

Dada a natureza controversa das QSC, torna-se indispensável o entendimento dos julgamentos morais e dos princípios éticos, os quais abrangem valores universais e imparciais, fundamentados no respeito mútuo e na equidade de interesses entre os sujeitos. Sob essa perspectiva, conforme argumentam Outhwaite e Bottomore (1996), a ética estabelece o suporte necessário para lidar com dilemas de maneira justa, pois não apresentam uma solução única ou puramente técnica, mas colocam em discussão valores igualmente importantes, como o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental e cultural, exigindo decisões fundamentadas na responsabilidade e no respeito aos direitos humanos. Ainda nessa perspectiva, os julgamentos morais são entendidos como avaliações normativas das ações e do caráter dos agentes envolvidos, funcionando como um exercício reflexivo que pondera valores e conflitos para alcançar uma resolução fundamentada na justiça e no bem comum (Valls, 1994).

A mineração é uma das práticas mais antigas da humanidade e desempenha um papel fundamental no progresso material e humano das civilizações. O ferro, por exemplo, é um dos principais elementos utilizados na produção de aço. No contexto econômico, possui grande importância para o crescimento do país, pois é uma fonte de receitas e fornece matérias-primas essenciais para diversas indústrias (Canto, 2010).

Se, por um lado, a mineração é essencial para a vida moderna e tecnológica, por outro, está associada a diversos impactos e envolve dilemas socioambientais complexos. Estes se manifestam nos danos à integridade ecológica, como a degradação do solo e da biodiversidade por meio da supressão vegetal e destruição de habitats durante as escavações. Há, ainda, os riscos aos recursos hídricos, em que o consumo excessivo de água e a contaminação por metais pesados ameaçam ecossistemas locais e comprometem o abastecimento de água potável, além do uso intensivo de maquinários e do desmatamento, que aceleram as mudanças climáticas por meio de altas emissões de dióxido de carbono (CO_2). Diante disso, há o dilema sobre como conciliar o desenvolvimento econômico dependente da mineração com a urgente necessidade de preservação socioambiental e minimização dos danos climáticos.

Além disso, sob a ótica das QSC defendidas por Santos (2007), emergem dilemas éticos na complexa relação entre a mineração, vista como pilar do desenvolvimento econômico e tecnológico, e seus impactos culturais diretos. Esses dilemas revelam conflitos sobre direitos fundamentais, como a posse da terra originária, a preservação da identidade cultural e o direito ao meio ambiente equilibrado, especialmente quando a atividade mineradora incide sobre territórios de comunidades tradicionais, como os indígenas. A identidade cultural é afetada na medida em que a degradação ambiental causada pela mineração inviabiliza a permanência dessas comunidades em seus próprios territórios.

A mineração, enquanto QSC, envolve aspectos que ultrapassam a comunidade local, gerando impactos que repercutem em todo o território nacional e afetam o equilíbrio do planeta. O setor mineral interage com o clima, o meio ambiente e a segurança humana de inúmeras maneiras, associando-se a riscos como o rompimento de barragens de rejeitos, a contaminação hídrica, a poluição do ar e a exposição a eventos climáticos extremos. Nesse sentido, a complexidade desses impactos permite estimular discussões fundamentadas nas QSC, incentivando o desenvolvimento de um posicionamento ético e crítico sobre as tensões entre o desenvolvimento tecnológico e a proteção da vida no ensino de ciências. Essa abordagem favorece a análise de como as decisões políticas e econômicas do setor mineral interferem diretamente nos caminhos da segurança humana e geram modificações nos ecossistemas (Munayer et al., 2025).

Segundo Leff (1998), os aspectos socioambientais compreendem a complexa interação entre fatores sociais, econômicos e culturais e o meio ambiente. Um

exemplo prático dessa dinâmica é o desmatamento, que altera o habitat natural e favorece a proliferação de organismos transmissores de agentes infecciosos, impulsionando o aumento de doenças como a malária e a dengue (Saccaro et al., 2015). Tais aspectos apontam como as atividades humanas provocam alterações na natureza e, simultaneamente, como a integridade dos ecossistemas é determinante para a manutenção da saúde humana.

Segundo Muniz e Oliveira-Filho (2006), um aspecto socioambiental resultante da mineração é a poluição de solos e rios por metais pesados, como mercúrio, chumbo, cádmio, arsênio, cromo, manganês e cobre. Essas substâncias tóxicas, liberadas durante a exploração mineral, podem afetar severamente a renda e a saúde de populações ribeirinhas que dependem da pesca em áreas próximas aos locais de mineração, inter-relacionando-se com aspectos éticos e sociais.

O deslocamento compulsório de comunidades indígenas, os desastres com barragens e a contaminação de recursos essenciais, como a água, estimulam também debates éticos e sociais que, segundo Martínez-Pérez (2012), são inerentes às QSC. Para o autor, esses temas permitem que o ensino de ciências vá além do conteúdo técnico, promovendo uma análise crítica sobre as injustiças socioambientais e os direitos das comunidades afetadas, já que injustiças socioambientais são situações em que o impacto ecológico não atinge a todos de forma igual, recaindo de maneira mais severa sobre comunidades tradicionais e periféricas, o que aumenta as desigualdades sociais e desrespeita a integridade cultural desses povos (Acselrad, 2004).

Nesta perspectiva, acidentes envolvendo barragens de mineração, a contaminação de lençóis freáticos e os impactos culturais em terras indígenas representam a complexidade das QSC, já que demandam a análise de interesses conflitantes entre o desenvolvimento econômico e a preservação da vida, exigindo que os estudantes avaliem evidências científicas em conjunto com valores éticos para compreender as tensões políticas e sociais envolvidas nessas disputas territoriais.

Ainda nessa perspectiva, a abordagem desses problemas em sala de aula, conforme discutido por Conrado e Nunes-Neto (2018), estimula a capacidade dos estudantes de avaliar impactos locais e globais, promovendo uma ação sociopolítica diante de problemas que afetam diretamente a vida e a saúde de populações vulneráveis. Essa ação caracteriza-se pelo envolvimento ativo dos es-

tudantes em processos decisórios e na busca por transformações sociais, indo além da sala de aula para questionar estruturas de poder, reivindicar direitos e propor soluções coletivas.

A utilização da mineração como QSC apresenta grande potencial nesses processos, pois permite aos estudantes desenvolver a capacidade de intervir criticamente na realidade. Essa intervenção manifesta-se por meio de uma participação ativa, entendida como o envolvimento prático e consciente do estudante em esferas sociais, seja pela mobilização comunitária, pelo diálogo com autoridades ou pela promoção de práticas sustentáveis que combatam as injustiças socioambientais identificadas (Conrado & Nunes-Neto, 2018).

Nesse sentido, a abordagem de temas sociocientíficos do cotidiano torna-se fundamental no ensino de ciências, pois, ao estimular esse protagonismo, estabelece uma conexão entre o conhecimento escolar e a ação cidadã. Essa perspectiva alinha-se ao pensamento de Sadler (2004), que reitera que o foco em QSC permite que o ensino de ciências parta do princípio de que o mundo vivido pelos estudantes é moldado por influências sociais e científicas indissociáveis, exigindo deles uma postura que vá além da absorção passiva de conteúdo.

No ensino de ciências, o professor pode promover essa articulação por meio de sequências de ensino investigativas, que se fundamentam na problematização da realidade local. Desse modo, é possível apresentar os impactos socioambientais da mineração utilizando reportagens, vídeos, resolução de problemas e práticas experimentais, entre outros recursos, além de discussões para colocar os estudantes diante de problemas reais. Essas estratégias podem ser realizadas por meio de metodologias, como júris simulados, debates em sala de aula ou rodas de conversa para a construção da tomada de decisão. Nessas atividades, os estudantes são estimulados a elaborar propostas de intervenção e planos de ação, promovendo o exercício da argumentação e a ação cidadã ao buscarem soluções viáveis para os conflitos relacionados à mineração (Carvalho, 2013).

Santos e Mortimer (2001) e Reis (2013) defendem que a contextualização de uma QSC com base na realidade local valoriza os conhecimentos prévios dos estudantes e amplia sua participação nas discussões em sala de aula. Ao identificarem a ciência em problemas reais, eles se sentem motivados a realizar julgamentos de valor e a colaborar na construção de soluções coletivas. Nesse processo, o exercício do pensamento crítico torna-se a ferramenta central, sendo

compreendido como a capacidade de avaliar informações e argumentos de forma objetiva, sem aceitá-los como verdades absolutas (Tenreiro-Vieira & Vieira, 2000). De acordo com Lipman (1995, p. 172) trata-se de “um pensar responsável e habilidoso que facilita bons juízos porque se fundamenta em critérios, é autocorretivo e é sensível ao contexto”. Na abordagem da temática da mineração, esses critérios são os meios que os estudantes utilizam para fundamentar suas decisões sobre os impactos da mineração e sobre a importância de minimizá-los, utilizando, para isso, julgamentos morais, fatos científicos, leis e evidências dos danos ao meio ambiente e às populações afetadas pela atividade mineral. De maneira complementar, Ennis (1985, p. 46) o define como “uma forma de pensamento racional, reflexivo, focado naquilo em que se deve acreditar ou fazer”.

Nesse contexto, a escola desempenha o papel de promover um espaço de articulação e de vivências de aprendizagens que vão além da transmissão de conteúdos, conectando o ensino de ciências à realidade dos estudantes. Ao incentivar a investigação de problemas locais complexos, como a mineração, e a busca por soluções, o ensino de ciências torna-se um campo de construção de saberes e um ambiente de formação cidadã, preparando os estudantes para atuarem em problemas que fazem parte da sociedade.

Ao utilizarem a QSC mineração e partindo de um contexto específico do cotidiano, os autores Azevedo et al. (2020) investigaram os impactos que a extração de bauxita na região do Baixo Amazonas pode provocar na comunidade e no meio ambiente, utilizando, para isso, uma audiência simulada. Tal atividade funcionou como um ensaio para a cidadania, alinhando-se à perspectiva de Conrado e Nunes-Neto (2018), de que a educação deve ser voltada para a ação social. Durante a atividade, ao representarem diferentes atores sociais (juízes, promotores ou comunidades impactadas pela mineração), os estudantes compreenderam as dinâmicas de poder e a importância de sua participação em decisões coletivas do cotidiano. Ao apresentarem argumentos que mostravam os danos diretos causados pela atividade mineradora à população e ao meio ambiente, os estudantes demonstraram a construção do pensamento crítico com base em critérios ambientais reais e observáveis. Os estudantes se posicionaram contra a instalação da mineradora no município, destacando que um problema real da mineração é a contaminação dos peixes por metais pesados e argumentando que a própria comunidade, que vive essencialmente da pesca, seria gravemente prejudicada pela atividade mineral.

Nessa perspectiva, a argumentação dos estudantes em atividades como audiências simuladas corresponde ao processo pelo qual se elaboram justificativas fundamentadas para sustentar um ponto de vista ou refutar uma ideia contrária (Toulmin, 2001), habilidade que pode ser amplamente desenvolvida a partir do uso de QSC em sala de aula. Ao confrontar o aluno com dilemas que exigem a negociação de significados e a defesa de posições baseadas em dados, promove-se o fortalecimento do pensamento crítico no ensino de ciências. Nesse sentido, argumentar é essencial para a construção do conhecimento escolar e configura-se como uma das competências gerais da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), devendo ser estimulada de forma transversal na educação básica para contribuir com a "transformação da sociedade, tornando-a mais humana, socialmente justa e, também, voltada para a preservação da natureza" (Brasil, 2017, p. 8).

Para Toulmin (2001), a argumentação é vista como a capacidade de apresentar justificativas para uma alegação, na qual um argumento bem estruturado não é apenas uma opinião, mas uma estrutura composta por elementos específicos, podendo ser desenvolvida em diferentes níveis de complexidade e campos de conhecimento, como em debates escolares e discussões em sala de aula. Para compreender a estrutura interna dos processos argumentativos e avaliar a solidez das defesas elaboradas pelos estudantes em um argumento, utiliza-se o padrão proposto pelo autor.

Aliada ao pensamento crítico, a argumentação permite que o estudante compreenda a complexidade das questões sociocientíficas e produza argumentos consistentes e bem fundamentados diante dos dilemas sociocientíficos, contribuindo para sua discussão e resolução. Essa relação capacita o sujeito a tomar decisões responsáveis que considerem o bem comum e a sustentabilidade, conceito que, segundo Sachs (2009), baseia-se no compromisso de suprir as necessidades da geração atual sem comprometer as possibilidades das gerações futuras. O contexto da discussão da temática da mineração pode convidar os estudantes a refletirem sobre como o consumo mineral pode ser mediado por uma postura responsável, que priorize a recuperação de áreas degradadas e o respeito inegociável aos direitos das populações afetadas, já que esse recurso não é renovável.

O pensamento socioambiental, como produto da relação entre o avanço da ciência e o meio ambiente, é fundamental para promover a sustentabilidade,

pois rompe com a visão utilitarista da natureza (Leff, 2001), transformando o conhecimento científico em uma ferramenta de proteção e gestão ética dos recursos naturais. Segundo Carvalho (2025), o pensamento socioambiental está relacionado ao desenvolvimento de uma postura ética no estudante, quando ele se percebe como um sujeito ecológico, capaz de intervir em decisões que afetam a natureza e a sociedade. Essa postura cidadã pode se manifestar por meio da participação em debates públicos sobre temas que afetam diretamente sua vida, a comunidade e a natureza, apresentando argumentos consistentes com base científica e priorizando a minimização de danos. O pensamento socioambiental pode possibilitar ao estudante propor alternativas e soluções que promovam a proteção, a continuidade e a subsistência de comunidades que precisam de ecossistemas equilibrados para manter seus modos de vida tradicionais, como as populações ribeirinhas, que têm na pesca e na qualidade da água dos rios a base de sua subsistência.

Nessa perspectiva, o pensamento socioambiental pode superar a visão de que o avanço científico é somente benéfico e voltado para um bem-estar social universal, livre de influências políticas, econômicas, ambientais ou éticas, para se tornar um compromisso com a justiça social, na qual os estudantes assumem a responsabilidade de deliberar sobre o futuro comum, considerando que toda intervenção na natureza impacta diretamente a vida, a cultura e os direitos de certas populações, pois não existe um meio ambiente isolado das relações sociais, da cultura e da economia (Carvalho, 2025).

De acordo com Lepsch (2011), a mineração ocasiona a degradação do solo, manifestando-se em três níveis interdependentes: o físico, caracterizado pela desestruturação e compactação das camadas superficiais; o químico, que envolve a perda de nutrientes ou a toxicidade por metais e acidez; e o biológico, marcado pela drástica redução da atividade de microrganismos e da matéria orgânica, essenciais para a sustentabilidade do ecossistema. Esses três níveis ocorrem simultaneamente, criando um cenário de degradação severa, no qual o sistema perde totalmente sua capacidade de autorregeneração. Entender esses processos permite que os estudantes analisem criticamente a dimensão dos impactos ambientais gerados pela atividade mineral, produzindo argumentos e propostas de soluções para a degradação ambiental e a minimização desses impactos. Essa compreensão científica pode superar a visão superficial do problema ambiental, fornecendo meios reais para que os estudantes, a sociedade e as

comunidades afetadas possam exigir medidas de minimização rigorosas e cobrar a fiscalização e responsabilização pelos danos causados pelas empresas exploradoras de minérios.

METODOLOGIA

A pesquisa qualitativa busca conhecer a essência de um determinado fenômeno ou descrever a experiência vivida por um grupo, sendo predominantemente interpretativa, de modo a compreender a perspectiva dos participantes (Gerhardt & Silveira, 2009; Gil, 2025).

Nesse sentido, esta pesquisa caracteriza-se como qualitativa por investigar os processos discursivos e argumentativos dos estudantes diante de uma Questão Sociocientífica. A investigação aqui apresentada buscou interpretar os sentidos atribuídos pelos estudantes aos dilemas da mineração, analisando como constroem seus argumentos e como o pensamento crítico emerge durante as interações em sala de aula.

Nesse contexto, adotou-se a observação participante como procedimento de produção de informações, considerando a inserção e o envolvimento do pesquisador no contexto investigado. A observação participante possibilita ao pesquisador estabelecer contato direto com o grupo e acompanhar as situações no contexto em que elas ocorrem, favorecendo a compreensão da realidade investigada a partir dessa aproximação (Gil, 2017). Esse procedimento permite registrar interações e acontecimentos à medida que se manifestam, possibilitando compreender comportamentos e relações interpessoais a partir da vivência direta no campo (Richardson et al., 2012; Ritchie, 2003). No contexto desta investigação, a observação participante possibilitou acompanhar o desenvolvimento das atividades da Sequência de Ensino Investigativa e as interações estabelecidas pelos estudantes durante as discussões acerca das controvérsias sociocientíficas relacionadas à mineração e às mudanças climáticas.

A pesquisa foi desenvolvida em uma escola de assentamento da rede estadual de ensino médio, localizada na zona rural do município de Parauapebas/PA, região fortemente influenciada pela atividade minerária. O estudo contou com a participação de 21 estudantes de uma turma do terceiro ano do ensino médio, com idades entre 17 e 18 anos. O projeto foi submetido ao Comitê de Ética em

Pesquisa, sendo aprovado em 7 de maio de 2025, sob o parecer CECP/UFMS nº 7.553.008 e CAAE nº 87859225.7.0000.0021.

As atividades que compõem este estudo ocorreram no segundo semestre de 2025 e foram desenvolvidas durante as aulas de Química. As propostas contaram com o levantamento de conhecimentos prévios e com ações que visaram ao desenvolvimento do processo argumentativo diante das controvérsias sociocientíficas no contexto da temática da mineração e de sua relação com as mudanças climáticas.

As informações foram produzidas a partir da aplicação da Sequência de Ensino Investigativa, que contou com leitura de textos, debates, utilização de vídeos, documentários, seminários, atividades escritas, divulgação de resultados, atividades experimentais, utilização de tecnologias educacionais, elaboração de relatos de experiências e resolução de problemas.

Para este estudo, o corpus de análise constitui-se dos relatos de experiência produzidos pelos estudantes na etapa de avaliação final da Sequência de Ensino Investigativa. A análise concentra-se nas respostas à seguinte problemática: como evitar e/ou minimizar os impactos ocasionados pela mineração?

Complementarmente, para fundamentar e aprofundar a compreensão sobre os temas emergentes nesses discursos, as interpretações dos resultados foram conduzidas por meio da Análise de Conteúdo, conforme os pressupostos teóricos de Bardin (2016). Adotou-se uma abordagem temática estruturada nas três etapas fundamentais do método: a pré-análise, a exploração do material e o tratamento dos resultados. A primeira etapa, a pré-análise, consistiu na fase de organização, na qual o material foi sistematizado a partir dos objetivos e hipóteses previamente definidos. Esse processo iniciou-se com a escolha dos documentos e a constituição do corpus, prosseguindo com a leitura flutuante para o contato inicial e a compreensão geral dos relatos, e culminou na referenciação de índices e na elaboração de indicadores mediante o recorte sistemático dos textos.

Concluída a organização inicial, a segunda etapa, denominada exploração do material, consistiu na descrição analítica do corpus. Nessa fase, delimitaram-se as unidades de registro (unidades-base de significado) e as unidades de contexto (extensões textuais necessárias para a compreensão dos sentidos), sobre as quais se aplicaram os procedimentos de codificação, classificação e categorização temática, sempre orientados pelas hipóteses e referenciais teóricos da pesquisa.

A partir da codificação, a terceira etapa contemplou o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação. Nesta etapa, os dados codificados foram condensados e tratados para fundamentar a análise, viabilizando interpretações inferenciais pautadas pela intuição, pela reflexão crítica e pela articulação teórica. Como resultado desse processo, emergiram quatro categorias definidas a posteriori: Reconhecimento dos impactos ambientais e dependência tecnológica da mineração; Minimização dos impactos a partir da inovação e controle tecnológico; Fiscalização ambiental e Vigilância Institucional; e Justiça Socioambiental e Preservação da Vida.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para Carvalho (2013), em uma sequência de ensino investigativa, a solução do problema refere-se ao processo de sistematização e aplicação do conhecimento construído, o que, no contexto das QSC, corresponde ao exercício da tomada de decisão. É o momento em que o estudante utiliza os conhecimentos construídos ao longo da investigação para propor intervenções reais sobre os impactos da mineração, demonstrando pensamento crítico diante dos dilemas relacionados a essa atividade.

Sob essa perspectiva, esta etapa da pesquisa buscou analisar o surgimento do pensamento crítico a partir dos argumentos elaborados pelos estudantes em resposta ao problema central que envolve os impactos ocasionados pela mineração. A análise dos argumentos pretendeu, ainda, identificar proposições que contemplassem ações capazes de minimizar os danos climáticos, visto que a mineração, enquanto eixo central de discussão sociocientífica, impacta diretamente as mudanças climáticas. A partir desse processo analítico, emergiram as categorias fundamentais que serão analisadas, interpretadas e discutidas a seguir.

Ao discutirmos a primeira categoria, Reconhecimento dos impactos ambientais e dependência tecnológica da mineração, foram identificados posicionamentos dos estudantes que, embora reconheçam a essencialidade econômica da atividade mineral, tendem a legitimar os danos socioambientais como inerentes ao processo produtivo. Nessa perspectiva, os estudantes deixam de focar na eliminação total dos impactos para priorizar o gerenciamento técnico e a redução de danos como caminhos viáveis. Dessa forma, a seguir são apresentadas soluções

propostas pelos estudantes que convergem para a impossibilidade de interromper a extração mineral, justificada pela dependência financeira e material da sociedade contemporânea.

> Estudante A4: “[...] não podemos evitar, mas podemos minimizar os impactos”.
>
> Estudante A8: “[...] os impactos da mineração não podem ser evitados, mas sim minimizados. Estudos especializados são alternativas para o problema”.
>
> Estudante A10: “Não é possível evitar os impactos da mineração, pois a mineração é essencial para a economia do Brasil, além de gerar milhões de empregos”.
>
> Estudante A13: “[...] não podemos acabar com os impactos da mineração, mas podemos minimizá-los”.
>
> Estudante A15: “É difícil evitar os impactos da mineração porque a sociedade precisa dos mais diversos objetos advindos dessa atividade”.

As soluções propostas pelos estudantes apresentam um dilema entre a necessidade econômica e os danos ambientais inevitáveis da mineração. Tal percepção é revelada, por exemplo, quando os estudantes A10 e A15 apontam que, para os problemas da mineração, não há uma solução puramente ecológica ou simples. Os estudantes apontam indícios de tomada de decisão a partir da compreensão dos impactos sobre a subsistência das pessoas, reconhecendo que a mineração é fundamental para a estrutura social, material e econômica do país, enfatizando, ainda, que os danos ambientais são inerentes à atividade mineradora e, portanto, impossíveis de serem totalmente evitados no modelo econômico atual.

Ao afirmar que a sociedade é dependente dos produtos fabricados a partir da mineração, o estudante A15 conecta a sua própria realidade à degradação ambiental. Isso representa a multidimensionalidade dessa QSC, na qual o papel do cidadão e do consumidor é incluído na análise do problema. Segundo Ratcliffe e Grace (2003), um dos aspectos centrais das QSC é a capacidade do indivíduo de reconhecer que as decisões sociocientíficas envolvem um conflito de valores pessoais e sociais. No contexto da mineração, os valores pessoais podem se manifestar nas crenças individuais do estudante, em suas escolhas éticas e na percepção dos impactos ambientais que afetam certas comunidades, promovendo um pensamento de justiça individual, por exemplo, ao se posicionar contra a contaminação de um rio ou a retirada compulsória de famílias ribeirinhas. Por

outro lado, os valores sociais podem abranger as demandas econômicas da coletividade e os interesses de desenvolvimento do país, como a oferta e busca por geração de empregos e arrecadação de impostos. Esse conflito pessoal e social se materializa quando o estudante se depara com o dilema de uma nova operação mineradora, na qual, individualmente, tende a priorizar o direito à saúde e à preservação cultural das populações locais, ao mesmo tempo em que é levado a ponderar a dependência tecnológica e a estabilidade econômica que a atividade mineradora promove.

Ao identificar a dependência do consumo, o estudante demonstra uma compreensão de que a ciência e a tecnologia não funcionam de forma isolada, mas respondem a demandas de um estilo de vida que o próprio cidadão mantém, tornando a análise do impacto ambiental uma questão de responsabilidade compartilhada.

Segundo Carvalho (2025), essa postura dos estudantes reflete a complexidade da formação do sujeito ecológico, uma vez que a dimensão ambiental não está dissociada das dinâmicas sociais e produtivas da sociedade. Sob essa perspectiva, o pensamento crítico dos estudantes emerge ao não ignorarem a dimensão econômica, demonstrando que a ética ecológica se constrói dentro da realidade prática, na qual as escolhas ambientais são condicionadas pela necessidade de manutenção da existência e do bem-estar social.

Ao ressaltarem que os danos da mineração podem ser apenas minimizados, os estudantes A4 e A13 transitam de uma visão idealista para uma postura pragmática e tangível, por compreenderem que a redução de danos é o caminho viável. Isso ocorre porque eles entendem que problemas complexos, como os decorrentes da prática mineral, não possuem soluções simples. Ao argumentarem que os impactos podem ser apenas minimizados, os estudantes apresentam ainda propostas de soluções amplas e gerais, mostrando a necessidade de detalhar como e quais ações seriam aplicadas para promover essa minimização que, no contexto das QSC, deve ser fundamentada no campo das intervenções reais e possíveis (Hodson, 2003).

Essa transição para a busca de viabilidade técnica é corroborada por Conrado e Nunes-Neto (2018), que definem a tomada de decisão em QSC como um processo que envolve a análise de custos e benefícios. Ao optarem pela minimização dos impactos, os estudantes demonstram que seu pensamento crítico

opera sobre a viabilidade das ações, buscando soluções que sejam socialmente possíveis sem ignorar a responsabilidade ambiental.

O estudante A8 considera os impactos da mineração inevitáveis e apresenta o conhecimento científico como ferramenta de redução dos danos ocasionados. Isso reflete a construção do pensamento crítico, em que o aluno compreende que a pesquisa e a técnica são aliadas necessárias para resolver os impasses causados pelo desenvolvimento econômico, que é produto da extração mineral. Essa ideia vai ao encontro do que propõe Santos (2007), ao defender que a educação científica deve capacitar o sujeito para compreender a ciência não como uma verdade absoluta, mas como uma construção humana capaz de oferecer subsídios técnicos para a resolução de problemas da sociedade. Para o autor, o pensamento crítico emerge quando o estudante percebe que a técnica, aliada a critérios éticos e sociais, é fundamental para mediar os conflitos gerados pelo progresso tecnológico, permitindo uma tomada de decisão que busca minimizar riscos em contextos complexos, como a mineração.

Os estudantes articulam uma visão da mineração como uma atividade de base estrutural, reconhecendo que sua manutenção está vinculada às necessidades materiais e sociais da coletividade, o que torna a elaboração de soluções para seus impactos um desafio complexo. Os indícios da formação do pensamento crítico deles se manifestam não na negação do problema, mas na busca por um ponto de equilíbrio entre a sobrevivência econômica, a geração de empregos, a necessidade de consumo e a responsabilidade ambiental, a qual exige estudos e a minimização dos danos.

Contudo, embora os estudantes articulem uma visão complexa sobre a indissociabilidade entre economia e meio ambiente, observa-se uma lacuna em suas argumentações, pois nenhum dos estudantes relacionou a necessidade de minimizar os impactos da mineração à necessidade do enfrentamento das mudanças climáticas. Apesar de demonstrarem argumentos pautados na viabilidade técnica e na redução de danos, a análise crítica e o julgamento fundamentado dos estudantes limitaram-se aos impactos ambientais locais e imediatos, sem estabelecer relação com a crise climática global. Essa ausência aponta que, embora compreendam a mineração como uma atividade vinculada ao consumo e à subsistência, a conexão direta entre a extração mineral, as emissões de gases de efeito estufa e o aquecimento global ainda não foi devidamente estabelecida ou priorizada no processo de tomada de decisão. Tal fato reforça a necessidade

de ampliar o debate sobre as QSC para além dos impactos locais das atividades mineradoras, integrando as dimensões climáticas que pautam a sobrevivência e o bem-estar social.

Na segunda categoria, foram discutidas propostas de soluções dos estudantes fundamentadas na capacidade mediadora da tecnologia para minimizar os danos da prática mineral. Esta categoria foi denominada Minimização dos impactos a partir da inovação e controle tecnológico, apresentando soluções nas quais a formação do pensamento crítico se manifesta a partir de propostas de caráter técnico, em que a inovação e a tecnologia são vistas como capazes de conciliar o desenvolvimento tecnológico com a preservação ambiental. Nessa perspectiva, os estudantes compreendem que a mineração ocasiona a degradação ambiental e passam a sugerir intervenções específicas que também modernizam o setor mineral. Essa visão pode ser observada por meio das seguintes unidades de registros, apresentadas nas soluções a seguir.

> Estudante A3: “[...] minimizando as explosões. Descarte correto dos resíduos da mineração”.
>
> Estudante A5: “[...] as empresas mineradoras devem adotar meios convencionais como máquinas que fazem menos barulho e poluem menos”.
>
> Estudante A7: “[...] diminuindo as escavações, o que evita o desmatamento e a poluição sonora”.
>
> Estudante A12: “[...] fundamental investir em tecnologias menos poluentes e tratamentos de água contaminada para minimizar estes impactos”.
>
> Estudante A17: “[...] usar tecnologias sustentáveis limpas para prevenir os impactos no meio ambiente”.
>
> Estudante A19: “Deve-se usar outras opções de trabalho que sejam menos prejudiciais ao meio ambiente”.
>
> Estudante A21: “[...] fazer o uso da lavra a céu aberto com menos frequência, pois esse método é o que mais prejudica a natureza”.

Para os estudantes A12 e A17, as soluções se direcionam para o investimento em tecnologias menos poluentes, sustentáveis e limpas. Eles compreendem que a mineração agride o meio ambiente e que é necessário intervir nesse processo com tecnologias de menor impacto, focando especialmente na contami-

nação dos recursos hídricos afetados pela mineração e nas emissões de CO_2 dos maquinários, os quais provocam mudanças climáticas. No caso das tecnologias limpas e sustentáveis, essa preocupação se refere ao conceito de descarbonização, definida como “o processo de redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE)” (Rocha & Silva, 2025, p. 7). Assim, a mineração, como geradora desses gases, demanda estratégias para sua redução ou eliminação. Nessa perspectiva, as possibilidades citadas pelos estudantes materializam-se em ações no setor mineral, que podem ser obtidas com o uso de sucata reciclada, a alteração nos processos produtivos por meio da eletrificação, a substituição de combustíveis fósseis, como diesel e gasolina, por etanol, biometano e HVO (diesel verde), a otimização do tempo de carregamentos nas filas, bem como a substituição de caminhões que circulam nas minas por correias transportadoras de longa distância (Rocha & Silva, 2025). Essa visão dos estudantes se assemelha ao que propõe Santos (2007), que defende que a educação científica deve capacitar o sujeito para compreender a ciência como uma construção humana capaz de oferecer subsídios técnicos para resolver problemas da sociedade.

Os estudantes A3 e A5 destacam a necessidade de minimizar explosões, realizar o descarte correto de resíduos e adotar máquinas que poluam menos e reduzam a poluição sonora. Essa visão mostra uma sustentabilidade holística, na qual o cuidado com o entorno é tão importante quanto a própria produção mineral (Costanza et al., 1997). A capacidade de colocar a proteção da natureza e o respeito à comunidade acima da produtividade imediata é, segundo Zeidler et al. (2005), a marca de um pensamento científico socialmente responsável, essencial para enfrentar os dilemas contemporâneos.

Os estudantes A7 e A21 demonstram uma análise crítica ao exemplificarem os métodos de extração mineral. Eles reconhecem que a lavra a céu aberto, principal meio de extração utilizado no mundo, exige a remoção de extensas áreas verdes para as escavações e promove uma degradação biofísica permanente. Nesse sentido, as propostas de soluções dos estudantes se direcionam para as ideias de Travassos (2010), que afirma que a mineração é, por natureza, uma atividade degradadora que altera a paisagem, promovendo a destruição total da estrutura biofísica original (solo, flora e fauna), e modifica a dinâmica hídrica superficial e subterrânea. A21 propõe diminuir o uso da lavra a céu aberto por ser o método que mais prejudica a natureza, enquanto A7 sugere a diminuição das escavações para evitar o desmatamento, e A19 aponta que se

devem utilizar outras opções de trabalho que sejam menos prejudiciais ao meio ambiente. Essa postura dos estudantes, ao buscarem alternativas ao modelo hegemônico de produção, reflete o desenvolvimento do raciocínio sociocientífico, o que demonstra, segundo Zeidler (2014), o aprimoramento do raciocínio moral e o surgimento do pensamento crítico. Ao sugerirem a alteração do método de extração, os estudantes demonstram que suas soluções envolvem não apenas a compreensão técnica do processo mineral, mas também o reconhecimento de que escolhas tecnológicas desse setor devem ser orientadas por práticas que minimizem os impactos ambientais.

As propostas de soluções apresentadas revelam que os estudantes estabelecem uma conexão entre a atividade mineral e as mudanças climáticas. Ao sugerirem o investimento em tecnologias sustentáveis e maquinários que poluem menos, os alunos demonstram compreender que a mineração é uma fonte emissora de gases de efeito estufa, demandando estratégias como a descarbonização, a qual pode minimizar o aquecimento global. Essa percepção é fundamental, pois, na perspectiva de Santos (2007), reflete a capacidade de utilizar subsídios técnicos para propor soluções a problemas socioambientais complexos.

Na categoria seguinte, são discutidas propostas de soluções apresentadas pelos estudantes que enfatizam a necessidade de fiscalização estatal, o combate à ilegalidade e a punição para crimes ambientais, sendo denominada Fiscalização ambiental e vigilância institucional.

> Estudante A9: “É necessária uma intervenção maior do ICMBIO para fiscalizar a extração de minério, protegendo os animais e as florestas”.
>
> Estudante A16: “Uma forma é ter mais fiscalizações dentro das mineradoras, evitando que estas façam crimes ambientais e fiquem impunes”.
>
> Estudante A18: “[...] existem muitos garimpos ilegais, onde não se tem fiscalização, o que gera mais poluição e impactos no ambiente”.
>
> Estudante A20: “[...] evitando principalmente o garimpo ilegal. Investindo em novas tecnologias para minimizar os impactos”.

Nas propostas de soluções dos estudantes A9 e A16, é apresentada uma compreensão da dimensão política que envolve a prática mineral. Ao apontarem a necessidade de uma intervenção maior do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e o combate à impunidade, os estudantes demonstram

que a resolução dos problemas socioambientais não deve partir apenas da esfera técnica, mas também da atuação de instituições governamentais fiscalizadoras. Isso significa que os estudantes percebem a ciência como uma atividade que gera conflitos, mas que depende de entidades regulatórias e da presença do Estado para garantir que o progresso econômico não se sobreponha à preservação da vida e do patrimônio ambiental.

A16 apresenta relações com a ética e a moral, um dos pilares fundamentais das QSC. Ao associar a mineração à possibilidade de crimes ambientais, o estudante desloca o foco do processo produtivo para as consequências sociais da negligência corporativa. Essa percepção é essencial no ensino de ciências, pois demonstra a capacidade do aluno de realizar julgamentos de valor sobre o impacto da tecnologia na sociedade, como defende Santos (2007). Segundo o autor, a educação científica deve ir além da memorização de conceitos, visando a uma formação humanística que privilegie a análise de aspectos sociopolíticos. A fala de A16 exemplifica o que Santos (2007) denomina de busca pela justiça social no ensino de ciências, na qual o estudante é estimulado a questionar as relações de poder e os interesses econômicos que moldam a direção do desenvolvimento tecnológico, assumindo uma postura crítica frente à negligência das grandes corporações.

Os estudantes A18 e A20 destacam a problemática do garimpo ilegal, enfatizando a ausência de fiscalização dessas práticas como causadora de poluição e impactos sobre o meio ambiente. Esse argumento exemplifica a interconexão entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Eles identificam que a falta de fiscalização pode provocar maiores impactos ambientais, pois não haverá punições por parte dos órgãos competentes sobre a extração dos recursos minerais. Os estudantes focam na complexidade do problema, em que o garimpo não é apenas uma falha técnica, mas um dilema sociocientífico que gera uma degradação biofísica maior. A preocupação com a fiscalização desses garimpos ilegais sugere um entendimento de que a ciência e a tecnologia devem estar sob constante vigilância social e ética (Hodson, 2003).

A20 apresenta, ainda, uma visão voltada para o papel da tecnologia como ferramenta de remediação para o problema mineral. Ao sugerir o investimento em novas tecnologias para minimizar os impactos, o estudante apresenta uma perspectiva de tecnociência voltada para a sustentabilidade. Essa visão demonstra uma confiança na capacidade humana de inovar para solucionar problemas gera-

dos pelo próprio desenvolvimento, um tema central nas discussões sobre tomada de decisão em contextos científicos, como aponta Aikenhead (2006). Para o autor, o ensino de ciências orientado por uma perspectiva social deve permitir que o estudante compreenda a tecnologia não como uma solução autônoma e infalível, mas como uma construção humana sujeita a valores e limites, colocando o avanço científico e tecnológico como produtor de ações que minimizem os impactos.

Na quarta categoria, foram discutidas soluções mais complexas que conectam a mineração à saúde pública, aos direitos de povos tradicionais e à integridade ecológica, sendo denominada Justiça socioambiental e preservação da vida, conforme pode ser observado nas proposições a seguir.

> Estudante A2: “Também é crucial um planejamento rigoroso, uso de tecnologias mais limpas, além de um forte engajamento com as comunidades locais”.
>
> Estudante A6: “[...] extraindo os minérios sem poluir o meio ambiente”.
>
> Estudante A11: “É possível minimizar os impactos da mineração evitando a poluição por substâncias químicas, que poluem as águas como o mercúrio”.
> Estudante A14: “Causam doenças, degrada o meio ambiente, produz substâncias tóxicas e causa doenças respiratórias”.
>
> Estudante A1: “Deve-se construir projetos de preservação também para terras indígenas e projetos minerais afastados de cidades para não trazer riscos à saúde”.

As propostas de soluções dos estudantes A2, A6, A11, A14 e A1 revelam uma compreensão sobre a indissociabilidade entre a prática da mineração e os riscos à saúde pública e à integridade territorial. Os estudantes conseguem articular o conhecimento técnico sobre a extração mineral com preocupações relativas à justiça e à ética ambiental.

O estudante A2 apresenta uma dimensão fundamental, que é a participação social. Ao defender um forte envolvimento com as comunidades locais, ele reconhece que a ciência e a tecnologia não devem ser impostas, mas sim negociadas com as populações envolvidas e que sofrem os impactos diretos da mineração, já que estes podem interferir diretamente na subsistência de toda uma comunidade local. Esse envolvimento é visto pelo estudante como uma forma de viabilizar ações que garantam a continuidade dos modos de vida dessas

populações, possibilitando que elas dialoguem e proponham alternativas reais que, ao serem implementadas, causem o menor dano possível. A2 reforça que a tomada de decisão associada ao avanço tecnológico deve ser democratizada, entendendo que as comunidades afetadas precisam deixar de ser apenas receptoras dos impactos da mineração e passar a atuar como agentes de transformação de sua própria realidade.

Essa perspectiva defendida por A2 alinha-se à necessidade de uma gestão democrática dos riscos ambientais, na qual a tecnologia mais limpa é vista como uma obrigação ética, e não apenas como um diferencial operacional. O argumento do estudante aproxima-se do pensamento de Santos (2007), que defende que o letramento científico deve ser entendido como uma prática social que ultrapassa a compreensão de conceitos, visando à atuação do cidadão na esfera pública. Para o autor, a capacidade de o estudante propor que as comunidades locais participem do processo de tomada de decisão reflete uma formação voltada para a cidadania plena, em que as implicações sociais e éticas da tecnologia são discutidas coletivamente. Isso assegura que o desenvolvimento científico não seja uma imposição, mas um processo dialógico orientado pelo compromisso com o bem-estar social e a proteção dos direitos das populações afetadas.

Portanto, a mineração é uma temática promissora no campo das QSC por possibilitar a articulação entre os conhecimentos científicos, o cotidiano e os impactos ambientais vivenciados pelos estudantes. Essa abordagem estimula a tomada de decisão e a reflexão crítica sobre os dilemas do progresso tecnológico e suas consequências socioambientais, como as mudanças climáticas. Nessa perspectiva, o estudo de Bonilla-Castañeda e Martínez-Pérez (2018) exemplifica a aplicação do tema mineração ao abordá-lo a partir de outra vertente: a exploração do coltan, mineral indispensável e presente em aparelhos celulares, como uma QSC capaz de desenvolver competências científicas por meio da análise de um problema real derivado do campo científico-tecnológico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mineração, embora essencial à vida moderna, é uma atividade que altera as paisagens e contribui para a emissão de gases de efeito estufa. Diante dessa complexidade, a pesquisa buscou analisar soluções propostas pelos estudantes

para os impactos ambientais da mineração que incidem nas alterações do clima. De forma geral, os estudantes não conseguiram estabelecer conexões diretas entre a extração mineral e as mudanças climáticas, apesar de o tema ter sido debatido em vários momentos durante a investigação. Essa dificuldade decorre do fato de que, na articulação entre os dois assuntos, os estudantes concebem a atividade mineradora como o tema central de suas propostas. Essa centralidade mostra que o impacto ambiental visível e tangível da extração mineral se sobrepõe, na visão dos estudantes, ao fenômeno global das alterações climáticas, evidenciando que certas competências conceituais sobre as atividades humanas que potencializam o efeito estufa ainda precisa ser fortalecidas no currículo escolar.

A análise das soluções revelou que os estudantes ultrapassaram o senso comum ao proporem alternativas reais e possíveis de serem implementadas para os impactos da mineração, atuando como protagonistas. Houve um estímulo claro à capacidade de tomada de decisão, visível em propostas como o planejamento rigoroso para minimizar os impactos da mineração, a utilização de tecnologias mais limpas e o envolvimento com comunidades locais. Além disso, a investigação permitiu que os estudantes articulassem argumentos que integraram aspectos éticos, ao apresentarem propostas de que projetos minerais sejam realizados afastados de áreas urbanas para não trazerem riscos à saúde, assim como ao defenderem a realização de projetos que garantam a preservação para comunidades indígenas. Os argumentos integraram, ainda, a justiça social, quando os estudantes mencionaram o combate à impunidade em crimes ambientais, como os decorrentes de garimpos ilegais. Dessa forma, esta pesquisa abre espaço para que outros estudos utilizem as QSC para explorar especificamente a relação entre mineração e clima, a partir da conexão existente entre essa prática e as mudanças climáticas.

Conflito de interesse: Não houve conflitos de interesse na pesquisa.
Financiamento: O segundo autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de Produtividade em Pesquisa PQ-C (processo nº 310257/2025-5).
Agradecimentos: Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECMat) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) por todo apoio.

REFERÊNCIAS

Acselrad, H. (2004). As práticas espaciais e o campo dos conflitos ambientais. In H. Acselrad (Org.), *Conflitos ambientais no Brasil* (pp. 13-35). Relume Dumará.

Aikenhead, G. S. (2006). *Science education for everyday life: Evidence-based practice*. Teachers College Press.

Azevedo, M. L. S., Araújo, I. A. F., & Pinheiro, A. J. (2020). Audiência pública simulada: uma ferramenta multidisciplinar para o ensino de ciências envolvendo questões sociocientíficas e ambientais na região Amazônica. *Educitec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico*, *6*, e119720. https://doi.org/10.31417/educitec.v6ied.especial.1197

Bardin, L. (2016). Análise de conteúdo (L. de A. Rego & A. Pinheiro, Trads.). Edições 70.

Bonilla-Castañeda, M. N., & Martínez-Pérez, L. F. (2018). La explotación del coltán: Una cuestión sociocientífica para el desarrollo de competencias. In D. M. Conrado & N. Nunes-Neto (Orgs.), *Questões sociocientíficas: fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas* (pp. 363–373). EDUFBA. https://doi.org/10.7476/9788523220174.0018

Brasil. (2017). *Base Nacional Comum Curricular: Educação Infantil e Ensino Fundamental*. Ministério da Educação. https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf.

Canto, E. L. (2010). *Minerais, minérios metais: De onde vêm? Para onde vão?* (2ª ed.). Moderna.

Carvalho, A. M. P. (2013). *Ensino de ciências por investigação: Condições de implementação em sala de aula*. Cengage Learning.

Carvalho, I. C. M. (2025). *Educação ambiental: A formação do sujeito ecológico* (7ª ed.). Cortez.

Conrado, D. M., & Nunes-Neto, N. F. (2018). *Questões sociocientíficas: Fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas*. EDUFBA.

Costanza, R., Perrings, C., & Cleveland, C. (1997). *Foundations of ecological eco-*

nomics. Edward Elgar Publishing.

Ennis, R. H. (1985). A logical basis for measuring critical thinking skills. *Educational Leadership, 43*(2), 44-48.

Gerhardt, T. E., & Silveira, D. T. (2009). *Métodos de pesquisa*. Editora da UFRGS.

Gil, A. C. (2017). *Como elaborar projetos de pesquisa* (6ª ed.). Atlas.

Gil, A. C. (2025). *Pesquisa qualitativa básica*. Editora Vozes.

Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, *25*(6), 645-670. https://doi.org/10.1080/09500690305021

Leff, E. (1998). *Saber ambiental: Sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder* (2ª ed.). Vozes.

Leff, E. (2001). *Saber ambiental: Sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder* (10ª ed.). Vozes.

Lepsch, I. F. (2011). *19 lições de pedologia*. Oficina de Textos.

Lipman, M. (1995). *O pensar na educação* (A. M. F. Gallindo & B. F. Viana, Trads.). Vozes.

Martínez-Pérez, L. F. (2012). *Questões sociocientíficas na prática docente: Ideologia, autonomia e formação de professores*. Editora Unesp. https://doi.org/10.7476/9788539303540

Martínez-Pérez, L. F., & Carvalho, W. L. P. (2012). Contribuições e dificuldades da abordagem de questões sociocientíficas na prática de professores de ciências. *Educação e Pesquisa, 38*(3), 727-741. https://doi.org/10.1590/S1517-97022012005000014

Munayer, R., Pereira, L. C., & Morales-Muñoz, H. (2025). Climate, environment and human security in Brazil: Response landscape and leadership opportunities. *Climate Diplomacy*, *25*(1), 3-58. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11074.70088

Muniz, D. H. F., & Oliveira-Filho, E. C. (2006). Metais pesados provenientes de

rejeitos de mineração e seus efeitos sobre a saúde e o meio ambiente. *Universitas: Ciências da Saúde, 4*(1), 83-100.

Outhwaite, W., & Bottomore, T. (1996). *Dicionário do pensamento social do século XX* (E. F. Alves & A. Pinheiro, Trads.). Jorge Zahar.

Pereira, A. S., & Carvalho, W. L. P. (2020). Avaliação de ciclo de vida de produtos como temática sociocientífica na formação de professores de química como intelectuais transformadores. *Ciência & Educação*, *26*, 1–17. https://doi.org/10.1590/1516-731320200065

Ratcliffe, M., & Grace, M. (2003). *Science education for citizenship: Teaching socio-scientific issues*. Open University Press.

Reis, P. (2013). Da discussão à ação sócio-política sobre controvérsias sócio-científicas: uma questão de cidadania. *Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista, 3*(1), 1-10. Recuperado de http://hdl.handle.net/10451/9577.

Richardson, R. J., Peres, J. A. S., Wanderley, J. C. V., Correia, L. M., & Peres, M. H. M. (2012). *Pesquisa social: Métodos e técnicas*. Atlas.

Ritchie, J. (2003). The applications of qualitative methods to social research. In J. Ritchie & J. Lewis (Eds.), *Qualitative research practice: A guide for social science students and researchers* (pp. 24-46). Sage Publications.

Rocha, F., & Silva, B. (2025). *Descarbonização na indústria brasileira: Os desafios e as janelas de oportunidade de uma política industrial para a descarbonização* (Policy Brief DIP-BR 01/2025). Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Saccaro, N. L., Mation, L. F., & Sakowski, P. A. M. (2015). *Impacto do desmatamento sobre a incidência de doenças na Amazônia* (Texto para Discussão N.º 2142). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

Sachs, I. (2009). *Caminhos para o desenvolvimento sustentável* (4ª ed.). Cortez.

Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching, 41*(1), 51-81. https://doi.org/10.1002/tea.20009

Sadler, T. D. (2005). Evolutionary theory as a guide to socioscientific decision-making. *Journal of Biological Education, 39*(2), 68-72. https://doi.org/10.1080/00219266.2005.9655964

Santos, W. L. P., & Mortimer, E. F. (2001). Tomada de decisão para ação social: Responsabilidade social no ensino de ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, *1*(1), 27–39. https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000100007

Santos, W. L. P. (2007). Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. *Revista Brasileira de Educação, 12*(36), 474-492. https://doi.org/10.1590/S1413-24782007000300007

Tassara, E. T. O., & Rutkowski, E. W. (2008). *Mudanças climáticas e mudanças socioambientais globais: Reflexões sobre alternativas de futuro*. UNESCO; IBECC.

Tenreiro-Vieira, C., & Vieira, R. M. (2000). *Promover o pensamento crítico dos alunos: Propostas sugeridas por estudos de investigação*. Porto Editora.

Toulmin, S. E. (2001). *Os usos do argumento* (R. Guarany, Trad.). Martins Fontes.

Travassos, L. E. P. (2010). *A mineração e seus impactos ambientais*. [Publicação técnica/Artigo].

Valls, Á. L. M. (1994). *O que é ética* (9ª ed.). Brasiliense.

Zeidler, D. L. (2014). Socioscientific issues as a curriculum emphasis: Theory, research, and practice. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education* (Vol. 2, pp. 697-726). Routledge.

Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Simmons, M. L., & Howes, E. V. (2005). Beyond STS: A research-based framework for socioscientific issues education. *Science Education*, *89*(3), 357-377. https://doi.org/10.1002/sce.20048