





A Influência do Processo de Resolução de um Caso Investigativo na Construção de Conhecimentos de Química Instrumental

The Influence of the Solution Process of an Investigative Case on the Construction of Knowledge of Instrumental Chemistry
La Influencia del Proceso de Resolución de un Caso Investigativo en la Construcción de Conocimientos en Química Instrumental

Cleane da Costa Paz,  Cícero Alves Lopes Júnior,  Herbert de Sousa Barbosa,  e
Luciana Nobre de Abreu Ferreira 

Resumo

Neste trabalho, apresentamos um estudo empírico realizado com o objetivo de identificar evidências da construção de conhecimentos científicos a partir de uma proposta pautada na Aprendizagem Baseada em Casos Investigativos (ABCI) em uma disciplina de Química Instrumental no ensino superior. Os dados foram gerados a partir da construção de diagramas heurísticos pelos graduandos a respeito da resolução do caso investigativo (CI) e analisados mediante a metodologia de Programas de Investigação Científica (PIC) de Lakatos. Na análise dos diagramas, identificamos aspectos conceituais e metodológicos apropriados à resolução do CI, bem como componentes que constituem o PIC, sinalizando indícios de apropriação conceitual pelos graduandos. A análise também aponta que a resolução do CI foi orientada por heurísticas positivas, sustentadas por hipóteses auxiliares que protegem o núcleo constituído de inferências a respeito da solução do CI. Ademais, heurísticas negativas foram observadas nas soluções, as quais permitem inferir que o conhecimento foi construído pela confrontação de informações. Tais resultados sugerem que o diagrama heurístico contribuiu para a construção do conhecimento científico durante o processo de resolução do CI. Diante disso, defendemos que os CI aliados ao diagrama heurístico podem favorecer o processo de construção do conhecimento.

Palavras-chave: resolução de problemas, diagrama heurístico, programa de investigação científica, Ensino de Química

Abstract

In this paper, we present an empirical study identify evidence of construction of scientific knowledge using an Investigative Case Based Learning (ICBL) proposal in an Instrumental Chemistry discipline in higher education. Data were generated from the heuristic diagrams created by students to solve the investigative case (IC) and analyzed using Lakatos' Scientific Investigation Programs (SIP) methodology. In examining the diagrams, we identified conceptual and methodological aspects appropriate for solving the IC and components that constitute the SIP and indicate conceptual appropriation by students. The analysis also suggests that the solution of the IC was guided by positive heuristics supported by auxiliary hypotheses that protect the core consisting of inferences regarding the IC solution. In addition, negative heuristics were also identified in the solutions, suggesting that knowledge was built through confrontation with information. These results indicate that the heuristic diagram contributed to the construction of scientific knowledge during the IC solution process. Given this, we argue that IC in combination with the heuristic diagram can facilitate the process of knowledge construction.

Keywords: problem solution, heuristic diagram, scientific research program, Chemistry Teaching

Resumen

En este trabajo, presentamos un estudio empírico realizado con el objetivo de identificar evidencias de la construcción de conocimientos científicos a partir de una propuesta basada en el Aprendizaje Basado en Casos Investigativos (ABCI) en una asignatura de Química Instrumental en la educación superior. Los datos se generaron a partir de la construcción de diagramas heurísticos por parte de los estudiantes sobre la resolución del caso investigativo (CI) y se analizaron mediante la metodología de Programas de Investigación Científica (PIC) de Lakatos. Al analizar los diagramas, pudimos identificar aspectos conceptuales y metodológicos adecuados para la resolución del CI, así como componentes que constituyen el PIC, que señalan signos de apropiación conceptual por parte de los estudiantes. El análisis también señala que la resolución del CI estuvo guiada por heurísticas positivas, sustentadas en hipótesis auxiliares que protegen el núcleo conformado por inferencias sobre la solución del CI. Además, se observaron heurísticas negativas en las soluciones, lo que permite inferir que el conocimiento se construyó por confrontación de informaciones. Estos resultados sugieren que el diagrama heurístico contribuyó a la construcción del conocimiento científico durante el proceso de resolución del CI. Ante esto, sostenemos que los CI combinados con el diagrama heurístico pueden favorecer el proceso de construcción del conocimiento.

Palabras clave: resolución de problemas, diagrama heurístico, programa de investigación científica, Enseñanza de Química

Introdução

A disciplina Química Instrumental, presente nos currículos de graduação em Química, tem como objetivo discutir os fundamentos teóricos e experimentais dos principais métodos instrumentais de análise. Nesse contexto, espera-se que os graduandos, no percurso da disciplina, desenvolvam habilidades de solução de problemas analíticos, utilizando fundamentos desses métodos. Para isso, é necessário utilizar estratégias de ensino e aprendizagem que colaborem para o desenvolvimento de habilidades inerentes à competência de resolução de problemas. Uma dessas estratégias é a Aprendizagem Baseada em Casos Investigativos (ABCI).

A ABCI é uma variante da Aprendizagem Baseada em Problemas — *Problem Based Learning* (PBL), que enfatiza o aprendizado centrado no discente. Os estudantes aprendem por meio da resolução de casos investigativos (CI), com narrativas sobre problemas vividos por personagens que precisam ser resolvidos (Francisco et al., 2022). Nesse cenário, os discentes são convidados a participar da história e a resolver o caso (Francisco, 2017), atuando em grupos colaborativos sob a orientação do professor (Pierini et al., 2015), propondo soluções para os problemas apresentados.

Diante desse contexto, os CI promovem a investigação (Benjamim & Sousa, 2021), estimulam a persuasão e ensinam ciência de modo que os estudantes desenvolvam um conhecimento científico aplicável e flexível (Francisco & Benite, 2016). Dessa forma, os CI se apresentam como uma alternativa eficaz para o desenvolvimento de habilidades superiores, como pensamento crítico e comunicação (Bernardi & Pazinato, 2022).

Nessa perspectiva, várias pesquisas têm sido desenvolvidas no ensino de Química, em especial no nível superior, com a aplicação de CI com o objetivo de desenvolver: a aprendizagem de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais (Passos et al., 2018); a competência de resolver problemas (Francisco & Benite, 2016); a argumentação (Park et al., 2020); as habilidades de comunicação (Cabral et al., 2017); a tomada de decisão (Rodrigues & Weber, 2021); a aplicação/contextualização de conceitos (Hibbard, 2019); a construção e apropriação do conhecimento científico (Francisco, 2019), além de contribuir para a formação de professores de Química (Francisco et al., 2022).

Face às considerações, partimos da hipótese de que o uso de CI em ambientes de ensino de Química pode contribuir para a construção de conhecimentos científicos. Para isso, durante o processo de resolução, os estudantes devem ser conduzidos por caminhos que os direcionam aos aspectos conceituais e metodológicos inerentes à solução do problema. Nesse sentido, uma estratégia viável para mediar o processo de resolução de CI é a utilização do diagrama heurístico. Este é um recurso didático que permite a organização de dados sobre uma questão de pesquisa de forma holística, proporcionando ao pesquisador a percepção das inter-relações entre os aspectos teóricos e metodológicos que orientam a resposta da questão de investigação.

De acordo com Chamizo (2017), o diagrama é uma das estratégias mais eficazes para a resolução de problemas. Esse instrumento heurístico auxilia os discentes a refletir, conectando conhecimentos prévios aos conteúdos em estudo, facilitando a resolução de problemas específicos (Khafifah et al., 2022). Além disso, o diagrama pode ser utilizado para compreender a produção do conhecimento (Chamizo & Garcia-Franco, 2013). Diante disso, o presente estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: quais são as evidências de construção do conhecimento científico em diagramas heurísticos elaborados por graduandos em Química na resolução de casos investigativos?

Na busca de respostas para tal, elaboramos e aplicamos um CI em uma disciplina de Química Instrumental, de modo a criar oportunidades para os discentes praticarem a investigação científica e construir conhecimentos sobre os métodos espectrofotométricos. Esses métodos permitem medir a quantidade de radiação absorvida ou transmitida por uma substância em uma solução em concentração desconhecida (Gilber et al., 2013), objeto de estudo da disciplina em pauta. Além disso, durante o processo de instrução e resolução do CI, utilizamos o diagrama heurístico adaptado por Paz et al. (2024) como recurso didático de apoio à resolução do caso, orientando os estudantes sobre os elementos que favorecem a tomada de decisão na escolha da melhor solução.

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo identificar evidências de construção do conhecimento científico em diagramas heurísticos elaborados por graduandos em Química a respeito da resolução de um CI. Para tanto, analisamos os diagramas produzidos, utilizando a metodologia de Lakatos (1989), que permite explorar o conteúdo científico das pesquisas como programas de investigação científica.

A Metodologia de Imre Lakatos

Na metodologia de Imre Lakatos, a ciência é um “Programa de Pesquisa” ou “Programa de Investigação Científica” (PIC), que possui um núcleo firme, constituído por uma teoria ou conjunto de hipóteses lançadas como verdadeiras (Alves & Tatsch, 2017). Esse núcleo é a hipótese teórica geral que constitui a base a partir da qual o programa se desenvolve, reunindo os pressupostos básicos, essenciais e fundamentais para a sua existência (Miranda et al., 2022).

No PIC, o núcleo é protegido pelo cinturão protetor, constituído de hipóteses auxiliares que oferecem suporte ao impacto dos testes e à heurística positiva (Martins et al., 2016). O PIC é desenvolvido por uma heurística positiva que orienta a organização conceitual, metodológica e empírica do programa, e por outra negativa, a qual delimita os caminhos de investigação a serem evitados (Alves & Tatsch, 2017).

Logo, os programas de pesquisa de Lakatos conseguem integrar características empíricas e interpretativas dos modelos e teorias (Chang & Chiu, 2008). Dessa forma, com o desenvolvimento do PIC, Lakatos (1989) busca uma explicação lógica para o pensar e o fazer científico. Como Martins et al. (2016) inferem, Lakatos desenvolveu sua metodologia “com o intuito de explicar a dinâmica da ciência, avaliar um dado conhecimento como científico ou não científico e oferecer uma orientação para pesquisas científicas futuras” (p. 4).

Conforme Borge (2020), a metodologia dos PIC de Lakatos permite uma avaliação qualitativa do desenvolvimento do conhecimento científico. Um programa é considerado teoricamente progressivo quando modificações em seu cinturão protetor geram novas previsões, e empiricamente progressivo, quando algumas dessas previsões são corroboradas. Por outro lado, quando ajustes no cinturão protetor não resultam em previsões de fatos novos, o programa pode ser regressivo/degenerado (Lakatos, 1989).

Com base nisso, nos últimos anos, estudos têm utilizado os pressupostos teóricos e metodológicos de Lakatos para analisar a construção e a evolução do conhecimento científico. Dentre eles, destaca-se o trabalho de Martorano e Marcondes (2014), que utilizaram os pressupostos de Lakatos de reconstrução racional do conhecimento científico para analisar a evolução histórica das ideias sobre Cinética Química. Os resultados obtidos evidenciaram níveis de explicação teórica do conteúdo em PIC.

Martins et al. (2016), por sua vez, aplicaram as ideias de Lakatos para investigar dados de um processo de ensino fundamentado em modelagem de interações intermoleculares, a fim de verificar a construção do conhecimento pelos estudantes. A partir dos resultados, os autores constataram a viabilidade do programa de Lakatos para fundamentar a análise da construção do conhecimento e, conseqüentemente, da aprendizagem dos estudantes.

Outrossim, Miranda et al. (2022) investigaram a evolução conceitual de estudantes do Ensino Médio sobre forças intermoleculares sob a perspectiva de Lakatos, constatando que a compreensão do conteúdo influenciou a evolução dos modelos explicativos dos discentes. Miranda e Pazinato (2023a) analisaram o processo de aprendizagem de conceitos sobre ligações de hidrogênio, identificando, com base em Lakatos, transições progressivas nos modelos explicativos dos alunos, evidenciadas na interpretação dos fenômenos à luz do conhecimento químico. Em outro estudo, os mesmos autores (Miranda & Pazinato, 2023b) identificaram sequências de transição progressiva nos modelos explicativos de estudantes sobre essas ligações. Barboza e Gibin (2024) também adotaram a perspectiva lakatosiana para avaliar as concepções de alunos do Ensino Médio sobre a Química.

A análise desses estudos demonstra a viabilidade do PIC de Lakatos para analisar a construção e a evolução do conhecimento científico. Tais estudos evidenciam que o PIC permite entender tanto o fazer científico quanto a evolução conceitual. Nesse contexto, o PIC permite analisar o conhecimento científico, concebido por Lakatos (1989) como parte de um programa de pesquisa, superando a visão indutivista da ciência, de que o conhecimento é a simples comprovação de proposições. Portanto, consideramos que o PIC pode ser adotado para investigar os caminhos e as explicações dos discentes à resolução de um problema em ambientes de ensino de Química, de modo a identificar a produção do conhecimento científico.

Metodologia

Esta pesquisa é de natureza qualitativa, escolhida por sua adequação à investigação, que visa à descoberta e enfatiza a interpretação em contexto (Ludke & André, 2018). O delineamento metodológico da pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa Humana da instituição na qual foi desenvolvida.

A pesquisa foi realizada na disciplina de Química Instrumental II, a qual conta com carga horária de 60 horas, ofertada no primeiro semestre de 2023 a graduandos do curso de Química de uma instituição de ensino superior. Considerando o objetivo da pesquisa, um caso investigativo foi elaborado previamente de acordo com as diretrizes de Herreid (1998, 2018a, 2018b, 2019) e Sá e Queiroz (2010), tendo em vista a abordagem do tema “Métodos espectrofotométricos”. Desta feita, foi produzido o CI intitulado “Leite enriquecido ou empobrecido?” pelos autores do presente trabalho. O CI está apresentado na Figura 1, a seguir.

Figura 1

Texto do Caso Investigativo “Leite enriquecido ou empobrecido?”

Diante da elevada frequência de anemia ferropriva em crianças com idade entre 6 meses e 5 anos, causada pela redução da quantidade de hemoglobina no sangue em decorrência da deficiência de ferro, empresas de laticínios têm fabricado leite enriquecido com ferro para atender a essas necessidades nutricionais, pois, o leite é um dos principais ingredientes da dieta infantil após a fase de aleitamento materno.

Nesse sentido, em maio de 2024, com o objetivo de fornecer uma opção mais acessível e saudável para a dieta de crianças em situação de vulnerabilidade nutricional, a empresa *Laticínios Dirchoff*, situada em São José do Divino-PI, lançou uma nova linha de leite enriquecido com ferro e cálcio. O projeto envolveu uma parceria com a Secretaria de Educação do município, garantindo o fornecimento de leite por um valor mais acessível para três creches da região que atendem crianças de 2 a 5 anos.

Maria do Carmo, diretora de uma das escolas da região com alta incidência de anemia em crianças, estava muito entusiasmada, pois seus alunos seriam contemplados com o leite enriquecido no programa de merenda escolar. No entanto, após alguns meses de consumo do leite enriquecido, a diretora passou a receber uma quantidade significativa de pais e responsáveis relatando casos de anemia em seus filhos. Após conversa com a nutricionista da escola, ela constatou que a única mudança considerável na alimentação das crianças foi a troca pelo leite *Dirchoff*. Aflita, Maria do Carmo encaminha-se ao telefone, liga para a empresa e relata os fatos em busca de soluções.

— Alô! Senhor Mauro, bom dia! Aqui é Maria do Carmo, lembra de mim?

— Alô! Olá, Dona Maria do Carmo, tudo bem?

— Não muito. Após algumas semanas, depois que inserimos o leite enriquecido produzido pela sua empresa, a partir de relatos de condições de saúde de alguns alunos, observamos que houve um aumento de casos de anemia, contrariando o esperado.

— Então, a senhora supõe que o leite tenha causado essa situação?

— Não sei. Eu não entendo. Por isso estou entrando em contato para solicitar uma investigação.

— Tudo bem, Dona Maria. Vou solicitar ao controle de qualidade da empresa que faça uma verificação nos lotes destinados à sua escola.

— Agradeço e aguardo retorno para tomar providências. Estamos com um estoque de leite para dois meses e a falta desse alimento irá prejudicar a nutrição das crianças.

— Compreendo. Pedirei urgência nas análises.

Vocês são da equipe de controle de qualidade da empresa e receberam a demanda para a análise do leite. Quais estratégias adotariam para essa análise? A partir das possibilidades de resultado, quais seriam indicativos de que a causa da anemia nas crianças seja decorrente do leite da empresa *Dirchoff*?

Conforme a Figura 1, o CI envolve uma problemática relacionada ao aumento de índices de anemia em crianças de uma creche cujo programa de merenda escolar foi contemplado com leite enriquecido com ferro e cálcio. Diante disso, a gestora da escola contactou o representante da empresa para solicitar a análise de controle de qualidade dos lotes adquiridos. Nesse cenário, os estudantes, como membros de uma equipe de

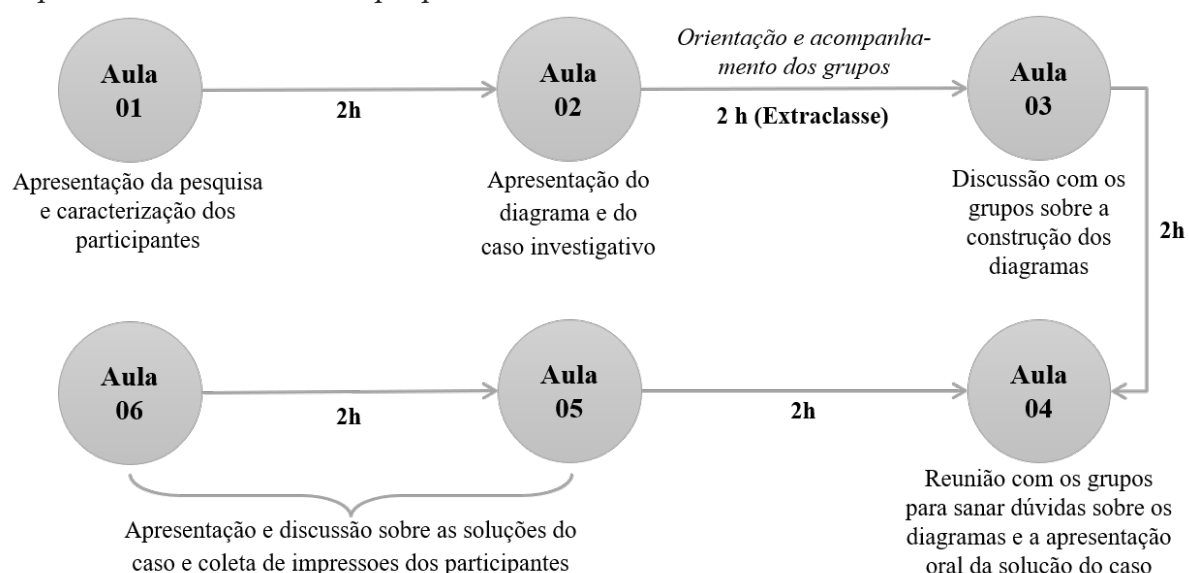
laboratório de controle de qualidade, teriam que propor estratégias para a análise do leite visando a quantificação de micronutrientes nas amostras, a fim de obter evidências sobre a qualidade do laticínio produzido, validando, ou não, a hipótese que a ingestão do leite da empresa *Dirchoff* estaria influenciando o quadro de anemia das crianças. Para tanto, deveriam tomar como respaldo os aspectos teóricos e metodológicos relacionados aos métodos espectrofotométricos e, a partir das possibilidades de resultados, propor uma solução para o CI.

Participantes e Contexto da Coleta de Dados

A pesquisa foi desenvolvida em 6 aulas, cada uma com duração de duas horas (2h), conforme apresentado na Figura 2 a seguir:

Figura 2

Etapas da coleta dos dados da pesquisa



Na primeira aula, o projeto foi apresentado aos graduandos. Na ocasião, explicações foram fornecidas a respeito da proposta de ensino que seria desenvolvida sob os pressupostos da ABCI. Ademais, na mesma aula foram fornecidas informações referentes às características de um CI. Após os discentes assinarem o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), um questionário aos voluntários da pesquisa foi aplicado, a fim de caracterizá-los. A pesquisa contou com a participação voluntária de cinco graduandos em Química: dois licenciandos (7º período) e três bacharelados (9º período).

Na aula seguinte, foram fornecidas informações referentes ao diagrama e à sua construção, especialmente sobre as características de cada uma das categorias que o compõem. Além disso, nessa mesma aula, o CI (Figura 1) foi apresentado à turma. Vale destacar que essa apresentação ocorreu em um momento em que o professor já havia iniciado a abordagem dos conteúdos relacionados às propriedades da radiação eletromagnética e aos fundamentos dos métodos espectrofotométricos.

Na apresentação do CI, os participantes tomaram conhecimento do conteúdo do caso a partir da leitura compartilhada da história narrada no CI, ocasião em que alguns deles foram convidados a assumirem o papel dos personagens envolvidos durante essa leitura. Posteriormente, foi feita uma sondagem das concepções prévias dos estudantes a respeito do caso, de forma oral. Neste momento, eles foram estimulados a levantar hipóteses a respeito do CI e de sua solução. Além disso, na mesma aula, os estudantes foram divididos voluntariamente em dois grupos para o estudo e a solução do CI, resultando em um grupo formado por três bacharelandos e outro por dois licenciandos.

As etapas concernentes ao estudo e resolução do CI foram realizadas de forma presencial, assim como em encontros remotos extraclasse. Esse processo não ocorreu sequencialmente, ou seja, durante duas semanas após a apresentação do CI, os estudantes tiveram aulas regulares da disciplina sobre métodos espectrofotométricos. Nesse período, o estudo do caso ocorreu em momentos extraclasse, tanto pelos grupos como entre os grupos e a pesquisadora. Essa foi, portanto, uma ocasião na qual os participantes foram orientados e incentivados a pesquisar em fontes fidedignas, como periódicos indexados na área de Química, na busca de informações que pudessem fundamentar suas escolhas teóricas e metodológicas em relação à solução do CI.

Após duas semanas, de forma presencial, os grupos foram reunidos para discussão e construção dos elementos constituintes do diagrama alusivos às possíveis soluções do CI. Os estudantes, em seus grupos, procederam com discussões cujos propósitos foram a geração e a avaliação de alternativas para a solução do caso, sustentados em informações conceituais e metodológicas pertinentes ao CI. Na ocasião (aula 03), cada grupo esclareceu possíveis dúvidas pertinentes ao estudo do CI e à construção do diagrama heurístico.

Na quarta aula, em formato presencial, foi reservado um momento com cada grupo para o esclarecimento de dúvidas sobre os diagramas construídos e a comunicação oral da solução do CI, tendo como base os aspectos discutidos na etapa anterior. Nas aulas seguintes, na semana posterior, os grupos apresentaram suas propostas de solução para o CI. Os graduandos discutiram sobre os aspectos conceituais e metodológicos envolvidos no CI, apresentando os processos que os direcionaram à solução.

Cabe destacar que, após as apresentações, as impressões dos estudantes sobre a proposta de ensino foram coletadas mediante a aplicação de um questionário, a fim de verificar suas percepções a respeito do caso e do diagrama heurístico. No total, foram necessárias seis semanas para o desenvolvimento das atividades referentes à pesquisa.

No presente manuscrito, tomamos como recorte a análise dos diagramas produzidos pelos graduandos sobre a resolução do CI, tendo em vista a identificação de evidências de construção do conhecimento científico ao longo desse processo. Partimos da premissa de que o diagrama, ao apresentar elementos pertinentes aos aspectos conceituais e metodológicos inerentes à solução do caso, pode indicar como o conhecimento científico foi construído pelos estudantes.

Instrumento de Coleta de Dados

A seguir, na Figura 3, há o diagrama heurístico adaptado, o qual foi utilizado como instrumento de coleta de dados na presente pesquisa.

Figura 3

Diagrama heurístico adaptado por Paz et al. (2024)

Diagrama heurístico sobre: tema de investigação.		Pontos
FATOS: Informações obtidas e/ou observações sobre o problema que nos levam a fazer uma pergunta.		
QUESTÃO: Pergunta central da investigação, ou seja, declaração de uma investigação incidindo sobre o problema identificado nos fatos.		
CONCEITOS		
APLICAÇÕES da questão de investigação	LINGUAGEM (termos necessários para responder à questão).	MODELOS científicos que fundamentam a resposta à questão.
PROCEDIMENTOS QUE DIRECIONAM À SOLUÇÃO DO PROBLEMA		
IDENTIFICAÇÃO/GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS: Identificação/geração das alternativas viáveis para responder à questão.		
AValiação DE ALTERNATIVAS: Análise das alternativas geradas por comparação sistemática dos prós e contras das possíveis alternativas para responder à questão.		
ESCOLHA DA SOLUÇÃO: Decisão sobre a melhor solução para responder à questão.		
SOLUÇÃO DO PROBLEMA		
Explicação que responde à questão: deve reunir elementos da identificação do problema, incluindo os conceitos e os processos que direcionam à sua solução.		
REFERÊNCIAS: Livros, artigos de revistas, sites, consultados e utilizados em todas as etapas da investigação.		
		Avaliação

Fonte: Paz et al. (2024).

O diagrama heurístico expresso na Figura 3 é o resultado da adaptação do diagrama elaborado por Chamizo (2012) a partir das modificações do diagrama V proposto inicialmente por Gowin. Tais modificações no diagrama de Chamizo (2012) foram realizadas por Paz et al. (2024), a fim de possibilitar seu uso como recurso didático de apoio à resolução de CI. Para isso, os pesquisadores modificaram a categoria “metodologia” do diagrama heurístico proposto por Chamizo (2012) a partir de pressupostos teóricos de Kortland (1996) e Lakatos (1989), inserindo elementos do

modelo de tomada de decisão relacionados aos componentes do PIC. Essas modificações foram justificadas pela natureza e aspectos envolvidos no processo de investigação do caso.

Desse modo, na construção do diagrama, aspectos teóricos e metodológicos inerentes à questão de investigação relacionada ao CI são correlacionados. O instrumento é constituído pela categoria “fatos”, a qual apresenta informações sobre o problema, que incidem sobre a categoria “questão”. As categorias “conceitos” e “procedimentos que direcionam à solução do problema” são construídas a partir das relações entre os aspectos conceituais e metodológicos que respaldam a solução do CI explícita na categoria “solução do problema”. Além disso, o diagrama apresenta a categoria “referências”, a qual deve ser elaborada a partir das fontes de pesquisa utilizadas para fundamentar a solução do CI.

Procedimento de Análise dos Dados

A fim de obter resposta sobre possíveis evidências de construção do conhecimento científico em diagramas heurísticos elaborados por graduandos em Química na resolução de CI, adotamos os pressupostos teóricos lakatosianos.

A priori, analisamos as categorias “fatos”, “questão” e “conceitos” dos diagramas produzidos. Tais categorias foram selecionadas por apresentarem aspectos teóricos e metodológicos necessários ao desenvolvimento dos programas de investigação sobre a solução do CI. Com a análise, buscamos identificar elementos inerentes à compreensão do problema e mobilização de conhecimentos que levam aos caminhos (heurísticas) de resolução do CI. A seguir, na Figura 4, apresentamos os aspectos considerados na análise de cada categoria.

Figura 4

Aspectos considerados para análise das categorias “fatos”, “questão” e “conceitos” dos diagramas

Categoria	Definição	Aspectos considerados para a análise das categorias
Fatos	Informações obtidas e/ou observações sobre o problema que leva a fazer uma pergunta.	Termos relacionados ao problema, conceitos e processos que direcionam à solução.
Questão	Pergunta de investigação sobre o problema identificado nos fatos.	
Conceitos	Termos relacionados à aplicação, linguagem e modelos que fundamentam a solução do problema.	

Outrossim, as categorias “procedimentos que direcionam à solução do problema” e “solução do problema” foram analisadas para identificar os elementos que constituem o PIC de Lakatos. Consideramos essas categorias por se relacionarem mais explicitamente aos componentes presentes nos PIC que indicam os caminhos e os pressupostos teóricos e metodológicos adotados pelos estudantes para resolver o CI. Acreditamos, portanto, que a identificação desses elementos pode ajudar a compreender como o conhecimento científico foi produzido pelos estudantes no processo de resolução do CI.

Para isso, elaboramos a Figura 5, para identificar nos diagramas os componentes que constituem o PIC proposto por Lakatos (1989). Essa figura apresenta as relações entre as categorias do diagrama e os componentes do PIC.

Figura 5

Categorias do diagrama heurístico e suas relações com os componentes do PIC

Categoria/ subcategorias do diagrama	Definição	Componente	Definição
Avaliação e/ ou escolha da solução	Atributos que justificam a escolha da solução	Cinturão protetor	Constituído por hipóteses auxiliares, passíveis de modificações para proteger o núcleo
Geração de alternativas	Alternativa que orienta a escolha da solução	Heurística positiva	Caminhos de investigação que devem ser seguidos
Geração de alternativas	Alternativas a serem evitadas	Heurística negativa	Caminhos de investigação que devem ser evitados
Solução	Resposta que atende à questão de pesquisa	Núcleo	Hipótese teórica geral

Conforme a Figura 5, para a identificação dos elementos do PIC, indicativos da construção do conhecimento científico, em diagramas elaborados pelos grupos, buscamos estabelecer as relações dos componentes do PIC e as subcategorias que constituem as categorias anteriormente mencionadas. Consideramos que essa construção dar-se-á a partir de movimentos que levam à compreensão e explicação do problema, utilizando os pressupostos teóricos e metodológicos adotados.

Resultados e Discussão

Os resultados apresentados a seguir são oriundos da análise dos diagramas produzidos pelos grupos, conforme os critérios supracitados na análise dos dados. A partir disso, organizamos os resultados em duas subseções. Inicialmente, os resultados da análise das categorias “fatos”, “questão” e “conceitos”. Posteriormente, descrevemos e discutimos a análise das categorias “procedimentos que direcionam à solução do problema” e “solução do problema”. Nas análises, buscamos identificar elementos que poderiam fornecer indícios da construção do conhecimento científico pelos graduandos, a fim de responder à questão de pesquisa do presente manuscrito. Outrossim, apresentamos uma breve análise das relações e distinções entre os PIC dos grupos.

Análise dos Elementos Indicativos de Mobilização dos Conhecimentos Para a Resolução do CI

Inicialmente, apresentamos os resultados e a discussão das categorias “fatos”, “questão” e “conceitos”, relativos à identificação de elementos indicativos da compreensão sobre o problema e a mobilização de conhecimentos que levam aos caminhos de resolução do CI.

Nesse contexto, considerando que a identificação e compreensão de um problema antecede a sua resolução, apresentamos a seguir a discussão sobre as informações obtidas e/ou observações sobre o problema, extraídas da categoria “fatos” dos diagramas produzidos pelos grupos A e B. Os resultados dessa análise encontram-se na Figura 6.

Figura 6

Relações entre os trechos retirados da categoria “fatos” dos diagramas dos grupos A e B com os aspectos relacionados ao problema, conceitos e processos que direcionam a solução do CI

Aspectos relacionados ao:	Trechos extraídos da categoria Fatos	
	Grupo A	Grupo B
Problema	Minerais como cálcio e ferro desempenham papéis vitais na saúde humana. Devido à sua importância, o enriquecimento de alimentos com esses minerais se tornou uma área de estudo recorrente.	[...] Para combater a anemia ferropriva é necessário consumir alimentos ricos em ferro. O enriquecimento de alimentos tem sido recomendado, como o melhor método de prevenção e combate à deficiência de ferro em uma população [...]
Conceitos que direcionam à solução	[...] estudos comprovam que um teor elevado de cálcio em alimentos pode causar a inibição da absorção do ferro no organismo. Portanto, há a adição de intensificadores que aumentam a absorção desses minerais [...]	[...] Entretanto, é necessário avaliar a biodisponibilidade do ferro adicionado, bem como possíveis interferentes em sua absorção, como o cálcio.
Processos que direcionam a solução	[...] O ICP-OES é uma técnica analítica de alta sensibilidade que permite a detecção e quantificação multielementar em uma amostra.	Para isso, é possível identificar e quantificar o tipo de ferro e a quantidade de cálcio por suas razões m/z ao usar um HPLC-DRC-ICP-MS.

De acordo com a Figura 6, as informações apresentadas pelo grupo A na categoria “fatos” indicam uma certa compreensão sobre a problemática envolvida no CI. Essa conclusão se ampara nas informações trazidas pelo grupo sobre o enriquecimento dos alimentos com micronutrientes necessários à saúde. Além disso, os fatos apresentados são alusivos aos conceitos e possíveis soluções do problema identificado.

Na categoria “fatos” do grupo B, foram localizados trechos referentes à anemia ferropriva, temática associada ao CI. Ademais, também foram identificadas informações sobre o enriquecimento de alimentos com micronutrientes para minimizar a anemia na população. Os “fatos” apresentados pelo grupo B também permitiram identificar conceitos e possíveis soluções do problema.

Os resultados da análise da categoria “fatos” dos diagramas dos grupos indicam iniciativas dos estudantes em reunir informações necessárias à solução do CI. Esse movimento contribuiu para a tomada de consciência sobre o que deveria ser investigado para a solução do problema identificado. Desse modo, a categoria “questão” dos diagramas foi elaborada mediante a tomada de conhecimento sobre o problema e suas possíveis soluções, como indicam as “questões” a seguir:

A anemia gerada é provocada por algum inibidor do ferro? Como pode ser modificado o leite para evitar essa inibição? (Questões extraídas do diagrama – Grupo A).

Como a técnica HPLC-DRC-ICP-MS irá confirmar que o leite enriquecido com ferro e cálcio é a causa para o aumento dos casos de anemia ferropriva? (Questão extraída do diagrama – Grupo B).

As “questões” elaboradas pelo grupo A incidiram sobre os “fatos” relacionados ao problema, sugerindo um caminho de investigação pautado na análise dos inibidores de ferro presentes no leite e modificações no produto para evitar esse efeito. O grupo B, por sua vez, apresentou uma questão baseada em “fatos” sugerindo uma metodologia para a análise do leite por meio da combinação das técnicas de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) com a utilização de uma célula de reação dinâmica (DRC).

Essas questões são fundamentais à construção do conhecimento científico e sua mobilização na resolução do CI. Como infere Chamizo (2017), “perguntar requer mobilizar conhecimentos e habilidades que permitem reconhecer a profundidade do saber” (p. 25). Isso converge com a perspectiva de Bachelard (1996), de que todo conhecimento é uma resposta a uma pergunta. Nesse sentido, o conhecimento científico não pode ser produzido, nem apropriado, sem uma questão.

Diante disso, a análise das categorias “fatos” e “questão” nos diagramas sugere que as conexões entre essas categorias favoreceram o processo inicial de investigação em busca da solução do CI. Essas conexões também foram identificadas na análise da categoria “conceitos”, a qual deveria apresentar termos conceituais relacionados à aplicação, linguagem e modelos que fundamentam a solução do problema. A seguir, na Figura 7, apresentamos os termos localizados na categoria “conceitos” dos diagramas elaborados pelos grupos A e B.

Figura 7

Termos relacionados à categoria “conceitos” dos diagramas dos grupos A e B

Subcategorias	Termos conceituais localizados na categoria “conceitos” do diagrama	
	Grupo A	Grupo B
Aplicações	Dieta rica em nutrientes selecionados; combate à anemia infantil; alimentos enriquecidos com minerais; controle de qualidade dos alimentos; quantificação de substâncias por técnicas analíticas.	Enriquecimento de alimentos com metais; identificação e quantificação de elementos por técnicas analíticas.
Linguagem	Alimentos enriquecidos; inibidores e intensificadores; espectrofotometria; fonte de plasma; emissão de radiação eletromagnética; linhas de emissão; precipitação; taxa de absorção de minerais e biodisponibilidade.	Anemia ferropriva; metabolismo do ferro; elementos químicos; absorção atômica; radiação eletromagnética; razão m/z; espectrometria de massas; separação de íons.
Modelos	Princípio da emissão e da absorção; teoria de Max Planck; modelo atômico de Niels Bohr.	Força eletrostática; eletromagnetismo; efeito fotoelétrico; interações intermoleculares; modelo atômico de Niels Bohr.

Conforme a Figura 7, a subcategoria aplicações da categoria “conceitos” nos diagramas dos grupos A e B foi construída com base em aplicações relacionadas à questão de investigação. Tais aplicações refletem o entendimento dos grupos sobre o problema contextualizado no CI e indicam possíveis caminhos para a solução, por exemplo, as menções feitas à “anemia”, ao “enriquecimento de alimentos” e à “quantificação por técnicas analíticas”.

Com relação à subcategoria linguagem, como observado na Figura 7, os grupos mencionaram termos alusivos à compreensão do CI e aos processos que direcionaram a sua solução. Chamizo (2017) ratifica essa ideia ao indicar que os termos destacados nessa subcategoria correspondem a conceitos fundamentais da questão de investigação e sua resolução.

Nesse sentido, as palavras destacadas na linguagem pelos grupos representam sinais de apropriação conceitual pelos estudantes, pois, de acordo com Wenzel e Maldaner (2016), o uso de termos específicos da linguagem científica durante o processo de aprendizagem possibilita a identificação dessa apropriação. Dessa forma, os termos conceituais destacados nas subcategorias aplicações e linguagem nos diagramas dos grupos evidenciam indícios de apropriação de conceitos, pois foram empregados corretamente no contexto do CI.

Quanto aos modelos científicos que fundamentam a resposta da questão do CI, os grupos ressaltaram os aspectos teóricos envolvidos nos métodos espectrofotométricos escolhidos para a solução. Por exemplo, o grupo A destacou o “princípio da emissão e da absorção, a teoria de Max Planck e o modelo atômico de Niels Bohr”, os quais

fundamentam a técnica de espectrometria de emissão atômica. Esta tem como princípio a conversão de componentes das amostras em átomos ou íons elementares, os quais, ao serem excitados para estados eletrônicos mais altos, retornam a estados de energia mais baixos, gerando linhas espectrais nas regiões do ultravioleta e do visível (Holler et al., 2009).

O grupo B, por sua vez, destacou modelos relacionados às etapas envolvidas no método escolhido para a solução do CI. Essas etapas incluem a atomização da amostra (efeito fotoelétrico e modelo de Bohr), na separação das espécies (força eletrostática e eletromagnetismo) e as interações intermoleculares associadas aos mecanismos de separação que ocorrem nas colunas cromatográficas (HPLC).

Desse modo, os modelos destacados pelos grupos foram fundamentais para a compreensão dos métodos e escolha da solução, conduzindo-os a caminhos de investigação que resultariam no desenvolvimento de um programa de investigação. Conforme Lakatos (1989), os modelos, enquanto conjunto de condições iniciais, são indispensáveis para o desenvolvimento do PIC.

A partir da análise das categorias “fatos”, “questão” e “conceitos” dos diagramas dos grupos, podemos inferir que os estudantes, de forma colaborativa, iniciaram um processo de construção de conhecimento sobre os “fatos” relacionados ao CI. Isso permitiu que cada grupo elaborasse uma “questão” de investigação coerente com o CI e sua solução. Para responder à “questão”, os grupos mobilizaram conhecimentos (hipóteses auxiliares), que os levaram a caminhos de resolução (heurística positiva) do CI e ao desenvolvimento dos PIC.

Nesse processo, os grupos mobilizaram conhecimentos científicos essenciais para a etapa inicial de solução do CI, mediante as inter-relações entre as categorias “fatos”, “questão” e “conceitos”. Isso é ratificado com a identificação de termos conceituais e metodológicos presentes nessas categorias e suas inter-relações. Por exemplo, os termos localizados na categoria “conceitos” indicam o início do processo de mobilização de conceitos relacionados às técnicas escolhidas pelos grupos para a solução do caso. Isso ocorre porque a linguagem e os modelos utilizados estão diretamente vinculados à escolha da solução do CI, que responde à questão de pesquisa baseada em “fatos”.

Logo, as informações apresentadas nessas categorias estão intimamente relacionadas ao CI e aos caminhos que direcionaram à sua solução, ou seja, a heurística positiva, marcando o início do processo de aprendizagem. Como explicam Wenzel e Maldaner (2016, p. 138), “o emprego de termos adequados ao contexto é o caminho inicial e necessário do processo de significação conceitual”. Os elementos identificados nas categorias “fatos”, “questão” e “conceitos” evidenciam o início de construção conceitual, por meio da utilização de termos adequados e da mobilização de conhecimentos, na busca por soluções para o CI.

Todavia, as categorias analisadas não apresentam a solução do CI, mas indicam a heurística positiva que orienta a organização conceitual e metodológica necessária à resolução do problema. Desse modo, para ratificar a construção do conhecimento

científico pelos estudantes durante a resolução do CI, serão apresentados, a seguir, os resultados e a discussão sobre a análise das categorias “procedimentos que direcionam à solução do problema” e “solução do problema” dos diagramas.

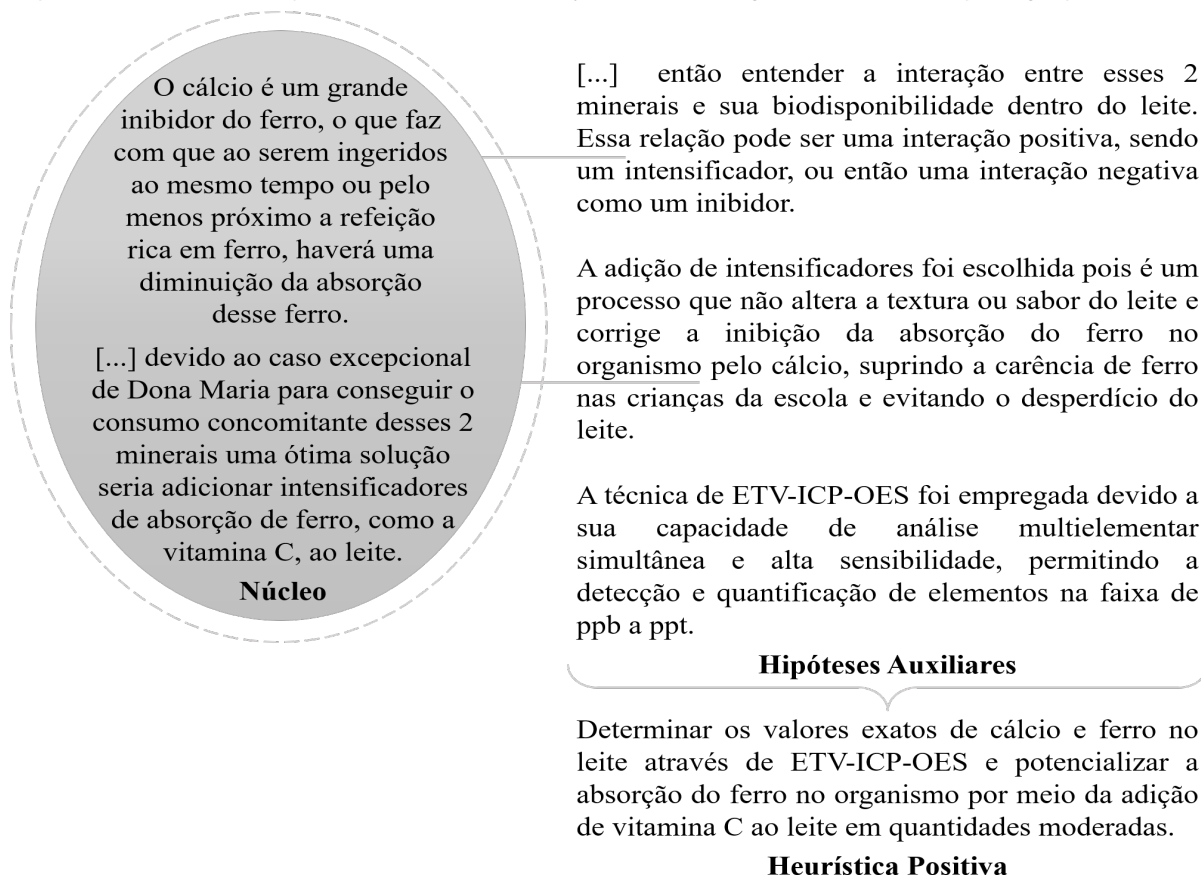
Os resultados obtidos possibilitarão uma análise mais aprofundada dos aspectos conceituais e metodológicos relacionados ao processo de construção do conhecimento científico pelos graduandos durante a resolução do CI. Conforme Francisco et al. (2020), o processo de aprendizagem inicia com a apropriação conceitual e culmina na elaboração de diferentes relações conceituais para explicar um fenômeno. Nesse contexto, apresentamos a análise dos PIC dos grupos A e B, realizada com o objetivo de verificar essas relações e sua influência na resolução do CI.

Análise dos PIC dos grupos A e B

A seguir, apresentamos os resultados e a discussão sobre os elementos dos PIC identificados na análise das categorias “procedimentos que direcionam à solução do problema” e “solução do problema”, dos diagramas elaborados pelos grupos à resolução do CI, conforme a metodologia de Lakatos (1989). Na Figura 8, a seguir, os componentes do PIC identificados no diagrama do grupo A.

Figura 8

Representação dos componentes do PIC identificados no diagrama elaborado pelo grupo A



Conforme a Figura 8, o caminho escolhido (heurística positiva) pelo grupo para a solução do caso foi a quantificação de cálcio e ferro no leite por meio da técnica de vaporização eletrotérmica acoplada à espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ETV-ICP-OES). Essa heurística positiva foi sustentada com a hipótese auxiliar de que a técnica possui a capacidade de:

[...] análise multielementar simultânea e alta sensibilidade, permitindo a detecção e quantificação de elementos na faixa de ppb a ppt (Hipótese auxiliar do PIC – Grupo A).

A hipótese auxiliar apresentada pelo grupo anuncia um pensamento crítico relevante à construção do conhecimento científico. Dessa maneira, os estudantes explicitaram as razões que motivaram a escolha da técnica a ser utilizada. Esse movimento é, portanto, essencial ao fazer científico. Conforme as ideias de Lakatos e Musgrave (1979), ao fazer ciência, é preciso questionar o motivo de um método ser aplicado, e não apenas aplicá-lo. Por isso, essa hipótese do PIC indica que, durante o processo de solução do CI, os estudantes colocaram em xeque a técnica adotada, apresentando justificativas para a sua escolha.

Além disso, o grupo deixou aparente, ao descrever no campo da geração de alternativas, que as técnicas de espectrofotometria de absorção molecular no UV-Vis e espectrometria de massas atômicas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) não deveriam ser utilizadas (heurística negativa). A equipe ressaltou que a primeira apresenta interferência de matriz (íons de tamanho maior podem prejudicar a detecção de íons de interesse) e exige pré-tratamento e processamento da amostra. A segunda possui interferência isobárica (sobreposição de sinais entre espécies iônicas que têm a mesma razão massa/carga) para o cálcio e poliatômica (associada a moléculas compostas por vários átomos) para o ferro.

Diante disso, o grupo defendeu que, a partir dos possíveis resultados obtidos com a técnica escolhida (heurística positiva), seria possível entender a biodisponibilidade dos minerais no leite e suas interações (hipótese auxiliar). A equipe se baseou na hipótese de que o leite analisado continha uma quantidade considerável de cálcio, o que estaria reduzindo a biodisponibilidade de ferro (núcleo). Essa inferência se assenta nas colocações de Almeida et al. (2011), que o consumo excessivo de leite com alto teor de cálcio e pobre em ferro pode ser um fator de alto risco para o desenvolvimento de anemia nos primeiros anos de vida. Tais resultados respondem à questão de investigação feita inicialmente pelo grupo: *a anemia gerada é provocada por algum inibidor do ferro?*

Nesse cenário, o grupo propôs que, para alcançar a absorção concomitante desses dois minerais, uma possível solução seria adicionar intensificadores de absorção de ferro, como a vitamina C, ao leite (núcleo). Essas inferências contidas no núcleo foram fortalecidas por uma hipótese auxiliar, a qual diz respeito aos atributos que evitam que o núcleo seja atacado.

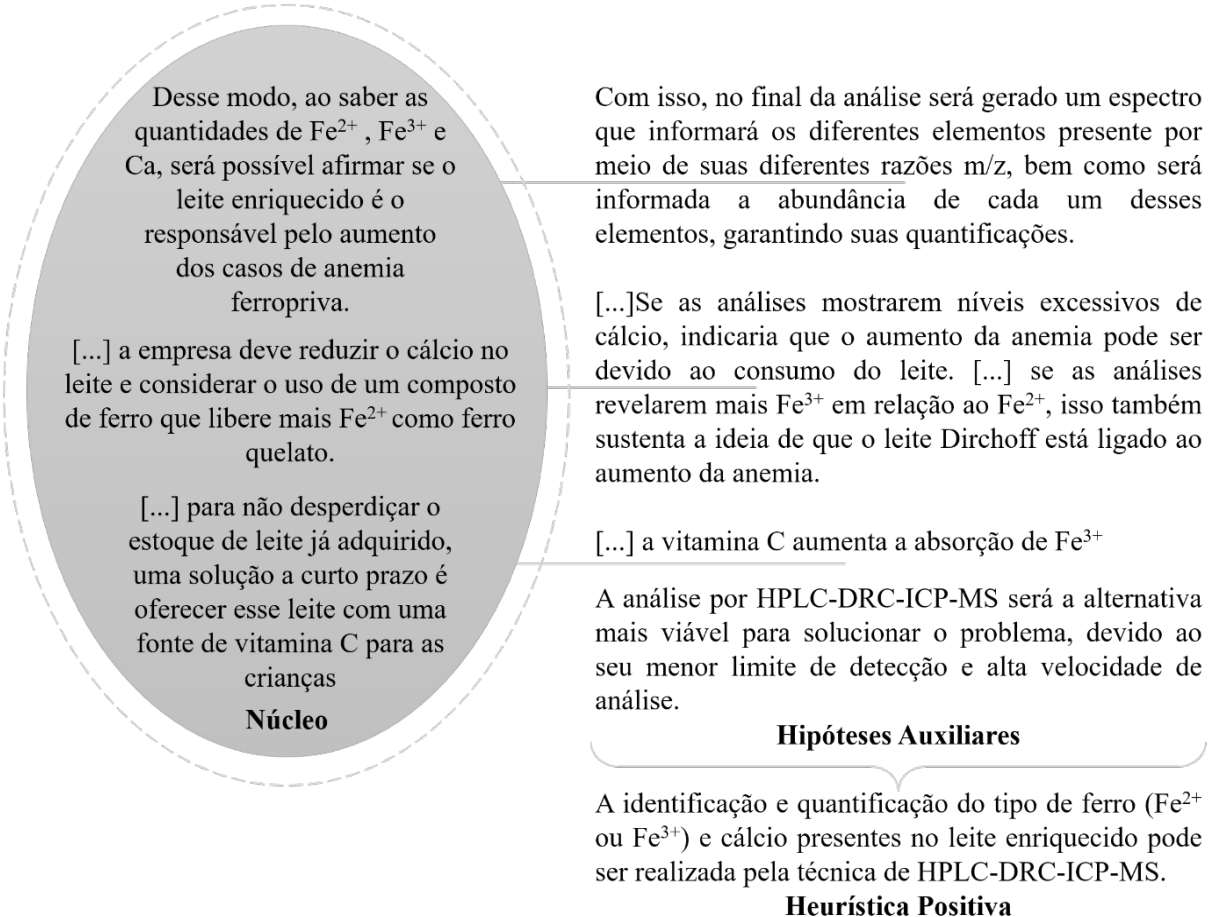
A adição de intensificadores foi escolhida, pois é um processo que não altera a textura ou sabor do leite e corrige a inibição da absorção do ferro no organismo pelo cálcio [...] (Hipótese auxiliar do PIC – Grupo A).

Silva et al. (2008) confirmam essa ideia ao demonstrarem que os estudantes criam “hipóteses auxiliares” para defender suas explicações nucleares. Por conseguinte, essa hipótese auxiliar sustentou a heurística positiva e fortaleceu o núcleo, constituído pela resposta da questão: *como pode ser modificado o leite para evitar essa inibição?*

O grupo B, por sua vez, apresentou elementos nas categorias “procedimentos que direcionam à solução do problema” e “solução do problema” que possibilitaram a identificação de um PIC constituído por heurísticas, hipóteses e núcleo relacionados à solução do CI. A seguir na Figura 9, a representação do PIC identificado no diagrama produzido pelo grupo B.

Figura 9

Representação dos componentes do PIC identificado no diagrama elaborado pelo grupo B



Como indica a Figura 9, o caminho metodológico (heurística positiva) escolhido pelo grupo para a análise do leite foi a identificação e quantificação de cálcio e ferro (nas suas formas iônicas Fe^{2+} e Fe^{3+}), por meio da técnica acoplada HPLC-DRC-ICP-MS. Desta feita, o grupo sustentou sua proposição com a seguinte hipótese auxiliar:

A análise por HPLC-DRC-ICP-MS será a alternativa mais viável para solucionar o problema, devido ao seu menor limite de detecção e alta velocidade de análise (Hipótese auxiliar do PIC – Grupo B).

De acordo com os possíveis resultados da análise, o grupo propôs que o leite provavelmente apresentaria alta concentração de cálcio, o que influenciaria a absorção do ferro. Ademais, outro fator apontado pelo grupo que poderia influenciar a biodisponibilidade do ferro no organismo foi o tipo de ferro presente no leite. Essas ideias estão ilustradas nos trechos a seguir, respectivamente:

[...] Se as análises mostrarem níveis excessivos de cálcio, indicaria que o aumento da anemia pode ser devido ao consumo do leite (Hipótese auxiliar do PIC – Grupo B).

[...] se as análises revelarem mais Fe^{3+} em relação ao Fe^{2+} , também sustenta a ideia de que o leite Dirchoff está ligado ao aumento da anemia (Hipótese auxiliar do PIC – Grupo B).

A hipótese do grupo sobre a influência do tipo do ferro presente no leite é reforçada por Almeida et al. (2011), os quais apontam que o ferro não heme (Fe^{3+}), de origem vegetal, apresenta menor biodisponibilidade do que o ferro heme (Fe^{2+}). O grupo também deixou explícito em seu diagrama que o caminho a ser evitado na investigação (heurística negativa) seria a separação e identificação dos tipos de ferro (Fe^{2+} e Fe^{3+}) por meio de reações e quantificação dos minerais utilizando a técnica de espectrometria de absorção atômica com atomização eletrotérmica (ETAAS), justificando que a versatilidade do método é baixa e o limite de detecção alto.

Desse modo, a partir dos possíveis resultados das análises com o método escolhido, sustentado por hipóteses auxiliares, o grupo respondeu à questão de investigação: *como a técnica HPLC-DRC-ICP-MS irá confirmar que o leite enriquecido com ferro e cálcio é a causa para o aumento dos casos de anemia ferropriva?* A partir da resposta à questão, o grupo recomendou que, nos próximos lotes, a empresa reduzisse a quantidade de cálcio no leite e considerasse o uso de um composto de ferro que liberasse mais Fe^{2+} , como ferro quelato (núcleo). Entretanto, para evitar o desperdício do estoque de leite já adquirido pela diretora da escola, uma solução a curto prazo seria oferecer esse leite com uma fonte de vitamina C para as crianças (núcleo). Essas afirmações nucleares foram fundamentadas por hipóteses auxiliares que, por sua vez, sustentaram a heurística positiva.

Com a análise dos PIC dos grupos, localizamos suas diferenças e relações. O grupo A considerou que a análise do leite não poderia ser realizada utilizando a espectrometria de massas atômicas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) (heurística negativa), pois a técnica apresentava interferência isobárica para o cálcio e poliatômica para o ferro, como explicado anteriormente.

Todavia, o grupo B optou pela utilização da ICP-MS acoplada à cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) e ao uso da célula de reação dinâmica (DRC) como caminho de investigação (heurística positiva). Isso indica uma progressão do programa do grupo B em relação ao grupo A, visto que o grupo B desenvolveu um PIC com a heurística negativa apontada pelo grupo A, além de utilizar a HPLC e a DRC para a eliminação de interferentes das espécies de interesse, a qual foi sustentada com hipóteses auxiliares. Conforme respaldado por Lakatos (1989), um programa é progressivo quando apresenta fatos novos ou fatos que até tenham sido contraditos por programas anteriores ou rivais.

Nessa perspectiva, embora o progresso científico seja tradicionalmente considerado um resultado de longo prazo e amplo alcance (Villani et al., 1997), a mobilização de conhecimentos prévios e novos conhecimentos para a resolução de CI permitiu identificar, de forma inicial, o progresso científico associado à produção do conhecimento pelos estudantes no contexto analisado.

Os dois grupos sugeriram que, para evitar a perda do estoque de leite, a solução de curto prazo seria a adição de vitamina C ao leite, a fim de promover uma maior absorção de ferro pelo organismo. Cabe ressaltar que essa solução foi considerada pelos grupos no primeiro contato com o caso, durante a leitura e apresentação do caso à turma. Desse modo, mesmo após o estudo e a discussão sobre a melhor solução para o CI, embora os dois grupos tenham seguido caminhos distintos, ambos forneceram como solução imediata a adição de vitamina C no leite e/ou o consumo concomitante de alimentos ricos em vitamina C.

Isso vai ao encontro das inferências de Silva e Chiaro (2018), que afirmam que “para solucionar os problemas, os alunos recorrem aos conhecimentos prévios, discutem, estudam, adquirem e integram os novos conhecimentos” (p. 88). Como ponderam Miranda et al. (2022), as concepções dos estudantes possuem influência significativa no processo de aprendizagem.

De modo geral, os dois grupos conseguiram produzir diagramas heurísticos com elementos que apontam para a construção de conhecimentos científicos relacionados à temática em pauta e solução do CI. Os elementos identificados nos diagramas fornecem indícios de construção do conhecimento científico, iniciada em um processo de compreensão e aplicação de conceitos e métodos para a resolução do CI. Essa construção foi ratificada por meio da análise dos PIC, os quais apresentaram um núcleo constituído por inferências fortalecidas por hipóteses auxiliares que sustentaram as heurísticas. Aliado a isso, a definição de heurísticas negativas também permitiu ratificar que o conhecimento foi apropriado pela confrontação de informações. Tais resultados são corroborados por Lakatos (1989), o qual acredita que o conhecimento científico é desenvolvido por meio da confrontação de ideias.

Nesse contexto, o CI proporcionou uma experiência que aproximou os graduandos do modo de produção de conhecimento científico dos cientistas. Os discentes assumiram o papel de profissionais, resolvendo problemas de forma inteligente e otimizada, o

que reflete a descrição de Villani et al. (1997): “os cientistas tentam alcançar o sucesso profissional resolvendo problemas científicos da forma mais inteligente e econômica possível” (p. 39). Essa dinâmica possibilitou estabelecer analogias entre os cientistas e os estudantes em formação, estreitando as relações entre o progresso científico e o progresso da aprendizagem no âmbito da resolução do CI.

Nesse viés, o CI imergiu os graduandos em ambientes de produção de conhecimento semelhantes aos vivenciados por pesquisadores e cientistas. Nesse processo, o conhecimento foi construído com base no levantamento de hipóteses que compõem o cinturão do PIC, fortalecendo o núcleo desenvolvido para responder à questão de pesquisa. Esse contexto transcende a “ciência normal” criticada por Lakatos e Musgrave (1979), elevando os conhecimentos construídos pelos estudantes a um nível de maior cognição científica. Esses avanços foram alcançados por meio das confrontações e relações conceituais e metodológicas necessárias para resolver o problema autêntico apresentado no CI.

Diante desses resultados, podemos inferir que a construção de conhecimentos, a partir da resolução do CI com o uso do diagrama, ocorreu por meio da mobilização de conhecimentos prévios e novos, os quais foram aplicados na resolução do CI. Nesse processo, as conexões conceituais e metodológicas foram evidenciadas desde o início da investigação até a solução do caso. Essas conexões, como corroborado por Miranda et al. (2022), são fundamentais para o processo de aprendizagem. Logo, esse progresso no aprendizado indica que os graduandos, de forma colaborativa, construíram seus conhecimentos científicos a partir da resolução do CI.

Conclusões e Implicações

A partir da análise dos dados, foi possível identificar os elementos indicativos da construção do conhecimento científico. Tais elementos foram localizados nos diagramas elaborados pelos grupos para a resolução do CI. Dessa forma, a análise dos diagramas nos permitiu identificar os caminhos escolhidos para a resolução do caso, bem como as conexões conceituais e metodológicas estabelecidas ao longo do processo de construção do conhecimento científico.

Nesse cenário, os resultados permitem responder à questão de pesquisa feita inicialmente. Os elementos que constituíram os diagramas elaborados pelos grupos para a resolução do CI favoreceram a construção de conhecimentos científicos durante o processo de aprendizagem. Os indícios de construção conceitual foram identificados a partir da análise das categorias “fatos”, “questão” e “conceitos” dos diagramas, enquanto os PIC construídos a partir da análise das categorias “procedimentos que direcionam a tomada de decisão” e “solução do problema” apontam para a construção do conhecimento científico por meio das intersecções entre as categorias do diagrama voltadas à solução do problema.

Nos PIC dos grupos, identificamos inferências nucleares sobre a solução do caso, protegidas por hipóteses auxiliares que sustentaram a heurística positiva, orientando a investigação científica desenvolvida pelos grupos. A análise desses componentes indica que o conhecimento científico foi construído em meio a constantes confrontações de ideias, de modo a evitar a refutação do núcleo.

Tais conclusões derivam de um contexto específico de ensino, que envolveu o estudo de um caso produzido a partir de uma situação simulada, contextualizada com a aplicação de conceitos estudados na disciplina e atuação profissional dos graduandos. Na ocasião, os grupos foram orientados a considerar pelo menos duas possíveis soluções e a avaliar, entre elas, a mais viável para resolver o CI. Isso favoreceu a construção das heurísticas (aspectos metodológicos), fundamentadas por hipóteses auxiliares (aspectos conceituais), que orientaram o desenvolvimento dos programas de pesquisa pelos grupos.

Entretanto, a depender do contexto de aplicação e orientações, outros PIC podem ser obtidos, pois esses PIC são construídos a partir dos elementos que constituem o diagrama heurístico elaborado sobre a solução do caso. Considerando que cada diagrama é único, uma vez que é produzido pelo processo de cognição e autocognição dos sujeitos que o constroem, os PIC são inerentes à construção de conhecimento por esses estudantes. Ademais, dependendo das características do caso a ser empregado, da natureza e dos contornos do problema proposto, outros aspectos pertinentes ao processo de construção do conhecimento científico poderão emergir.

Além disso, embora a proposta tenha se efetivado na disciplina de Química Instrumental II, pode ser adaptada em disciplinas de Química Analítica Quantitativa e Química Analítica Instrumental, que compõem a proposta curricular dos cursos de graduação em Química, uma vez que o caso aborda conceitos contemplados nas disciplinas em questão. Vale ressaltar, no entanto, que a aplicação do caso em uma disciplina de Química Analítica Quantitativa estaria limitada à utilização de técnicas clássicas, como a titulação de oxirredução para a determinação de ferro e titulação de complexação para determinar o cálcio. Além disso, dependendo da concentração dos minerais na amostra, tais técnicas seriam inviáveis.

Face às considerações, o presente manuscrito apresenta dados de pesquisa relevantes à área de ensino de Química, em especial, a pesquisadores que tenham interesse em trabalhar em contextos de ensino nos quais os estudantes são corresponsáveis por sua aprendizagem e desenvolvem competências e habilidades por meio da resolução de problemas contextualizados à sua realidade social e/ou profissional. Ademais, o diagrama heurístico, em sua forma adaptada, é sugerido como recurso didático para aqueles que buscam uma ferramenta capaz de mediar o processo de resolução de um CI, orientando para os elementos necessários à sua solução.

Logo, recomendamos a utilização de casos, juntamente com o diagrama heurístico adaptado, como recurso didático de apoio à resolução de problemas contextualizados no CI, em ambientes de ensino de Química. Tal proposta pode oferecer possibilidades

para a construção do conhecimento científico e do pensamento científico crítico por estudantes que buscam responder e atuar sobre questões relacionadas ao seu contexto social e/ou profissional.

Agradecimentos

Agradecemos aos graduandos que participaram da pesquisa e ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Piauí.

Referências

- Almeida, S. G., Melo, L. M., & Garcia, P. P. C. (2011). Biodisponibilidade de cálcio numa dieta isenta de leite de vaca e derivados. *Ensaio e Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 15(3), 147–158. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26021120012>
- Alves, M. A., & Tatsch, K. J. S. (2017). Epistemologia, história e ensino de matemática: reflexões sobre a formação e aprendizagem significativa. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 8(3), 78–93.
- Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Contraponto.
- Barboza, T. B., & Gibin, G. B. (2024). Visão de alunos do ensino médio sobre a ciência química. *Revista Atos de Pesquisa em Educação/Blumenau*, 19, 1–20. <https://dx.doi.org/10.7867/1809-03542022e10816>
- Benjamim, A. G. A. N., & Sousa, R. S. (2021). Estudo de caso no ensino de ciências: de sua descrição à reivindicação de uma educação química humanística. *Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC*, 11(1), 152–171. <https://doi.org/10.31512/encitec.v11i1.387>
- Bernardi, F. M., & Pazinato, M. S. (2022). The Case Study Method in Chemistry Teaching: A Systematic Review. *Journal of Chemical Education*, 99(3), 1211–1219. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00733>
- Borge, B. (2020). ¿Fue Lakatos un realista epistémico?: el rol de la verdad en la metodología de los programas de investigación científica. *Trans/Form/Ação*, 43(spe), 47–72. <https://doi.org/10.1590/0101-3173.2020.v43esp.04.p47>
- Cabral, P. F. O., Souza, N. S., & Queiroz, S. L. (2017). Casos investigativos para a promoção da CSCL no ensino superior de química. *Química Nova*, 40(9), 1121–1129. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170089>
- Chamizo, J. A. (2012). Heuristic diagrams as a tool to teach history of science. *Science & Education*, 21(5), 745–762. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9387-7>
- Chamizo, J. A. (2017). *Habilidades de pensamiento científico: los diagramas heurísticos*. FQ-UNAM.

- Chamizo, J. A., & Garcia-Franco, A. (2013). Heuristic diagrams as a tool to formatively assess teachers' research. *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, 19, 135–149. <https://doi.org/10.1080/13540602.2013.741841>
- Chang, S., & Chiu, M. (2008). Lakatos' Scientific Research Programmes as a Framework for Analysing Informal Argumentation about Socio-scientific Issues. *International Journal of Science Education*, 30(13), 1753–1773. <https://doi.org/10.1080/09500690701534582>
- Francisco, W. (2017). Na “pele” de Sherlock Holmes: em busca de um Ensino de Química mais investigativo e desafiador. *Revista Eletrônica Ludus Scientiae*, 1(1), 26–46. <http://dx.doi.org/10.30691/relus.v1i1.722>
- Francisco, W. (2019). A relação com o saber e o Ensino de Química: fundamentos teóricos para analisar o processo de aprendizagem em atividade de sala de aula. *Investigações em Ensino de Ciências*, 24(1), 1–21. <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2019v24n1p01>
- Francisco, W., & Benite, A. M. C. (2016). Casos investigativos e a relação com o saber: trajetória e processo de aprendizagem de estudantes do ensino superior no Tocantins. *Química Nova*, 39(3), 383–392. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160031>
- Francisco, W., Campaner, J. V. O., & Nascimento, H. C. H. (2020). Apropriação e a evolução conceitual em Química: uma análise a luz da relação com o saber. *Educación Química*, 31(1), 105–114. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.1.68811>
- Francisco, W., Silva, E. L., & Wartha, E. J. (2022). Dos conhecimentos à regulação metacognitiva: diálogos entre casos investigativos e formação continuada de professores de química. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 15(1), 37–61. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2022.e78704>
- Gilber, R., Gauto, M., & Gonçalves, F. (2013). *Química analítica: práticas de laboratório*. Bookman.
- Herreid, C. F. (1998). What makes a good case? *Journal of College Science Teaching*, 27(3), 163–165. <https://www.ecsb.org/wp-content/uploads/2016/09/What-Makes-a-Good-Case.pdf>
- Herreid, C. F. (2018a). Exercises in style: is there a best way to write a case study? *Journal of College Science Teaching*, 48(2), 34–38. https://doi.org/10.2505/4/jcst18_048_02_34
- Herreid, C. F. (2018b). Putting words in their mouth: writing dialogue for case studies. *Journal of College Science Teaching*, 47(4), 50–55. https://doi.org/10.2505/4/jcst18_047_04_50
- Herreid, C. F. (2019). The chef returns: a recipe for writing great case studies. *Journal of College Science Teaching*, 48(3), 38–42. https://doi.org/10.2505/4/jcst19_048_03_38
- Hibbard, L. (2019). Case studies for general chemistry: teaching with a newsworthy story. *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2528–2531. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00420>

- Holler, F. J., Skoog, D. A., & Crouch, S. R. (2009). *Princípios de Análise Instrumental* (6ª ed). Bookman.
- Khafifah, N., Hamid, S., & Muriati, S. (2022). Efektivitas model pembelajaran heuristik Vee terhadap hasil belajar ipa pada peserta didik kelas ix di upt spf smp negeri 35 kota makassar. *Jurnal Pendidikan Dasar*, 7(2), 64–73. <https://doi.org/10.52208/embrio.v7i2.316>
- Kortland, K. (1996). An STS Case Study about Students' Decision Making on the Waste Issue. *Science Education*, 80(6), 673–689. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199611\)80:6%3C673::AID-SCE3%3E3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199611)80:6%3C673::AID-SCE3%3E3.0.CO;2-G)
- Lakatos, I. (1989). *La metodología de los programas de investigación científica*. Alianza Editorial, S. A.
- Lakatos, I., & Musgrave, A. (org.). (1979). *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. Cultrix.
- Lüdke, M., & André, M. (2018). *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas* (2ª ed.). Rio de Janeiro: E.P.U.
- Martins, M., Justi, R., & Mendonça, P. C. C. (2016). O papel da argumentação na mudança conceitual e suas relações com a epistemologia de Lakatos. *Educación Química*, 27, 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.08.003>
- Martorano, S. A. A., & Marcondes, M. E. R. (2014). Investigando a abordagem do tema cinética química nos livros didáticos dirigidos ao ensino médio. *Revista Acta Scientiae*, 16, 114–132. <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/328/842>
- Miranda, A. C. G., & Pazinato, M. S. (2023a). Contributions of Lakatosian theory to the evaluation of explanatory models of intermolecular forces made by upper-secondary students. *Problems of Education in the 21st Century*, 81(2), 176–187. <https://doi.org/10.33225/pec/23.81.176>
- Miranda, A. C. G., & Pazinato, M. S. (2023b). Modelos explicativos de estudantes do ensino médio sobre a ligação hidrogênio: avaliação sob a perspectiva lakatosiana. *Educação Química em Ponto de Vista*, 7, 33–50. <https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/4325>
- Miranda, A. C. G., Pazinato, M. S., & Braibante, M. E. F. (2022). Transição progressiva dos modelos explicativos de estudantes do nível médio sobre a natureza das forças intermoleculares. *Investigações em Ensino de Ciências*, 27(2), 1–22. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n2p01>
- Park, J., Lee, J., & Kim, D. (2020). The effects of indexing prompts on problem solving in case library learning. *Problems of Education in the 21st Century*, 78(3), 394–409. <https://doi.org/10.33225/pec/20.78.394>

- Passos, K., Campo, L. F., Daniel, D. P., Lima, F. S. C., & Passos, C. G. (2018). O tema carboidratos através da metodologia de estudos de caso: desenvolvimento de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais. *Química Nova*, 41(10), 1209–1217. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170263>
- Paz, C. C., Barbosa, H. S., & Ferreira, L. N. A. (2024). Adaptação do diagrama heurístico como ferramenta de apoio à resolução de casos investigativos no Ensino de Química. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 15(2), 1–23. <https://doi.org/10.26843/rencima.v15n2a12>
- Pierini, M. F., Rocha, N. C., Silva Filho, M. V., Castro, H. C. & Lopes, R. M. (2015) Aprendizagem baseada em casos investigativos e a formação de professores: o potencial de uma aula prática de volumetria para promover o ensino interdisciplinar. *Química Nova na Escola*, 37(2), 112–119. <https://doi.org/10.5935/0104-8899.20150027>
- Rodrigues, J. B., & Weber, K. C. (2021). O processo de tomada de decisão e a percepção de aspectos da natureza da ciência no discurso argumentativo sobre casos sociocientíficos. *Química Nova na Escola*, 43(1), 94–104. <https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160232>
- Sá, L. P., & Queiroz, S. L. (2010). *Estudos de caso no Ensino de Química*. Editora Átomo.
- Silva, A. C., & Chiaro, S. D. (2018). O impacto da interface entre a aprendizagem baseada em problemas e a argumentação na construção do conhecimento científico. *Investigações em Ensino de Ciências*, 23(3), 82–109. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n3p82>
- Silva, O. H. M., Nardi, R., & Laburú, C. E. (2008). Uma estratégia inspirada em Lakatos com instrução de racionalidade por uma reconstrução racional didática. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 10(1), 9–26. <https://doi.org/10.1590/1983-21172008100102>
- Villani, A., Barolli, E., Cabral, T. C. B., Fagundes, M. B., & Yamazaki, S. C. (1997). Filosofia da ciência, história da ciência e psicanálise: analogias para o ensino de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 14(1), 37–55. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7039>
- Wenzel, J. S., & Maldaner, O. A. (2016). A prática da escrita e da reescrita orientada no processo de significação conceitual em aulas de química. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 18(2), 129–146. <https://doi.org/10.1590/1983-21172016180206>

 **Cleane da Costa Paz**

Universidade Federal do Piauí
Teresina, Piauí, Brasil
kleanepaz@hotmail.com

 **Cícero Alves Lopes Júnior**

Universidade Federal do Piauí
Teresina, Piauí, Brasil
ciceroalj@hotmail.com

 **Herbert de Sousa Barbosa**

Universidade Federal do Piauí
Teresina, Piauí, Brasil
hbarbosa@ufpi.edu.br

 **Luciana Nobre de Abreu Ferreira**

Universidade Federal do Piauí
Teresina, Piauí, Brasil
luciananobre@ufpi.edu.br

Editora Responsável: Márcia Gorette Lima da Silva

Revisado por: Fernanda Massi

Periódico financiado pela Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências — ABRAPEC



Manifestação de Atenção às Boas Práticas Científicas e Isenção de Interesse e de Responsabilidade

Os autores declaram ser responsáveis pelo zelo aos procedimentos éticos previstos em lei, não haver qualquer interesse concorrente ou pessoais que possam influenciar o trabalho relatado no texto e assumem a responsabilidade pelo conteúdo e originalidade integral ou parcial.

Copyright (c) 2025 Cleane da Costa Paz, Cícero Alves Lopes Júnior, Herbert de Sousa Barbosa, Luciana Nobre de Abreu Ferreira



Este texto é licenciado pela **Creative Commons BY 4.0 License**

Você tem o direito de Compartilhar (copiar e redistribuir o material em qualquer meio ou formato) e Adaptar (remixar, transformar e construir sobre o material para qualquer finalidade mesmo comercialmente) sob os seguintes termos de licença:

Atribuição: você deve dar os devidos créditos, fornecer um link para a licença e indicar se foram feitas alterações. Pode fazê-lo de qualquer maneira desde que fique claro que o licenciante não endossa você ou seu uso.

ShareAlike: se você remixar, transformar ou construir sobre o material, deve distribuir suas contribuições sob a mesma licença do original.
