



Aprendizagem Baseada em Enigmas (ABE) no Ensino de Química

Puzzle-Based Learning (PBL) in Chemistry Education

Aprendizaje basado en rompecabezas (ABR) en la enseñanza de la química

AUTORA 1

Maria das Graças Cleophas

Universidade Federal da Integração Latino-Americanana (UNILA)

 orcid.org/0000-0002-5611-2432
 lattes.cnpq.br/3907615898011202
 maria.porto@unila.edu.br

AUTOR 2

Eduardo Luiz Dias Cavalcanti

Universidade de Brasília (UnB)

 orcid.org/0000-0001-5104-8280
 lattes.cnpq.br/2609515072700660
 eldcquimica@gmail.com

RESUMO: O artigo analisa a Aprendizagem Baseada em Enigmas (ABE) como Atividade Inovadora em Química, articulando Didatização Lúdica, Teoria da Carga Cognitiva e Questões Sociocientíficas. Em uma intervenção com 19 licenciandos em Química, organizados em rotação por estações, oito enigmas digitais foram utilizados e avaliados por meio de escala Likert e questões abertas, submetidas à análise temática. Os resultados indicam predominância de concordância (75,4%) em relação à clareza, utilidade das imagens, conexão com QSC e trabalho colaborativo, com alta satisfação geral (média 9,25), além disso, a análise qualitativa revelou seis temas, a citar, Percepção pedagógica, Papel das imagens, Elementos de engajamento, Desafios de interpretação, Aspectos emocionais e Sugestões de aprimoramento. Por fim, concluímos que a ABE favorece engajamento, pensamento crítico e construção de sentido para conceitos químicos, desde que o desenho dos enigmas controle a carga cognitiva e seja continuamente aprimorado a partir do feedback dos estudantes.

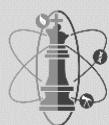
Palavras-chave: Enigmas, Aprendizagem Baseada em Enigmas, Ensino de Química, Carga cognitiva; Didatização Lúdica.

ABSTRACT: This article analyzes Puzzle-Based Learning (PBL) as an Innovative Activity in Chemistry, articulating Playful Didactics, Cognitive Load Theory, and Socioscientific Issues. In an intervention with 19 undergraduate chemistry students, organized in rotation by stations, eight digital puzzles were used and evaluated using a Likert scale and open-ended questions, submitted to thematic analysis. The results indicate a predominance of agreement (75.4%) regarding clarity, usefulness of images, connection with QSC, and collaborative work, with high overall satisfaction (average 9.25). Furthermore, the qualitative analysis revealed six themes, namely: Pedagogical Perception, Role of Images, Elements of Engagement, Interpretation Challenges, Emotional Aspects, and Suggestions for Improvement. Finally, we conclude that PBL favors engagement, critical thinking, and the construction of meaning for chemical concepts, provided that the design of the puzzles controls the cognitive load and is continuously improved based on student feedback.

Keywords: Puzzles, Puzzle-Based Learning, Chemistry Teaching, Cognitive Load; Playful Didactics.

INTRODUÇÃO

O ensino de Química é marcado por múltiplos obstáculos que impactam diretamente os processos de aprendizagem dos estudantes. Entre esses desafios, se destaca a concepção e implementação de materiais capazes de viabilizar Atividades Inovadoras em Química (AIQ) no contexto da sala de aula, um tema que demanda atenção contínua. Isso se deve ao fato de que tais atividades têm potencial para ressignificar a abordagem de conceitos ou temas específicos, contribuindo para o aumento do engajamento e da motivação para aprender. Nessa perspectiva, WESTBROEK et al. (2017) argumentam



que a incorporação de propostas inovadoras deve ter como ponto de partida o estabelecimento de conexões explícitas entre os objetivos centrais do professor e as metas definidas para a aula ou unidade didática. Segundo os autores, a efetivação da inovação ocorre, em grande parte, por meio das adaptações realizadas pelo docente em função desses objetivos, de modo que o alinhamento pedagógico seja o elemento que sustenta tanto a apropriação quanto a continuidade do caráter inovador da prática.

De forma complementar, o ensino no século XXI tem enfatizado a elaboração de práticas pedagógicas orientadas à qualificação da instrução e à melhoria dos resultados de aprendizagem (CLORES; NUEVA ESPAÑA, 2023). No âmbito do ensino de Química, esse debate assume especial relevância, uma vez que a construção do conhecimento químico exige a articulação entre diferentes níveis de representação, incluindo o macroscópico, o submicroscópico e o simbólico (JOHNSTONE, 1982), além da dimensão contextual proposta por Mahaffy (2006). Nesse cenário, não surpreende que a literatura registre de forma recorrente as dificuldades associadas à aprendizagem em Química (ALMEIDA; SANTOS, 2018). Além disso, a química é comumente percebida como uma disciplina complexa e abstrata, o que exige dos estudantes um elevado esforço cognitivo e o mobilizar de habilidades intelectuais específicas para sua compreensão, muito embora se trate de um dos ramos centrais da ciência, uma vez que possibilita aos alunos interpretar e compreender os fenômenos que ocorrem ao seu redor (SIRHAN, 2007).

Nesse cenário, a promoção de Atividades Inovadoras em Química (AIQ) sustentadas pela Didatização Lúdica (CLEOPHAS; SOARES, 2018) pode favorecer o desenvolvimento da flexibilidade cognitiva dos estudantes. Essa competência se relaciona à capacidade de adaptação diante de situações novas, à resolução criativa de problemas, ao reconhecimento das possibilidades existentes e à aplicação proativa dessas alternativas, bem como à avaliação das próprias ações por meio de estratégias regulatórias, acompanhada da percepção de competência frente a esses desafios (BUĞA et al., 2018). Portanto, a flexibilidade cognitiva assume papel central na forma como os indivíduos se ajustam a contextos dinâmicos e orientam seus comportamentos em função de objetivos definidos (GABRYS et al., 2018). Nessa mesma direção, Karakuş (2024) comprehende a flexibilidade cognitiva como a aptidão para interpretar situações desafiadoras como passíveis de controle, elaborar soluções alternativas e reconhecer múltiplas possibilidades de resposta diante de eventos da vida e de comportamentos humanos.

À luz dessas considerações, este artigo busca ampliar o conjunto de Atividades Inovadoras em Química (AIQ), fundamentadas na Didatização Lúdica, ao incorporar a Aprendizagem Baseada em Enigmas (ABE) no ensino de Química como estratégia para favorecer o desenvolvimento da flexibilidade cognitiva dos estudantes na resolução de problemas. Além disso, Ninomiya et al. (2024) argumentam que a resolução criativa de problemas e a seleção de estratégias indicam que a carga cognitiva pode favorecer



a identificação de alternativas durante o processo de resolução de problemas. Complementarmente, Hawthorne, Vella-Brodick e Hattie (2019) acrescentam que a Teoria da Carga Cognitiva (TCC) se fundamenta nas limitações da memória de trabalho humana e constitui um referencial teórico amplamente empregado para orientar a identificação de tipos de instrução e abordagens pedagógicas mais eficazes para a aprendizagem dos alunos. Nesse sentido, este estudo objetiva analisar as percepções de estudantes de licenciatura em Química acerca dos efeitos da carga cognitiva na Aprendizagem Baseada em Enigmas, considerando os exemplos empregados na proposta apresentada.

Aprendizagem Baseada em Enigmas (ABE) no Ensino de Química

A Aprendizagem Baseada em Enigmas, desenvolvida por meio de atividades lúdicas que não se configuram como jogos didáticos ou pedagógicos, constitui uma abordagem recente no contexto educacional brasileiro. No cenário internacional, no entanto, essa proposta já aparece aplicada em diferentes áreas do conhecimento, geralmente sob a denominação **Puzzle-based Learning**. Cabe destacar que a utilização de puzzles para o ensino tem uma longa tradição. De acordo com Falkner, Sooriamurthi, e Michalewicz, (2012), os primeiros quebra-cabeças matemáticos foram encontrados em textos sumérios por volta de 2.500 a.C. Uma das evidências mais concretas da abordagem de aprendizagem baseada em quebra-cabeças vem do trabalho de Alcuin, um estudioso inglês nascido por volta de 732 d.C., cuja obra continha mais de 50 quebra-cabeças (HADLEY; SINGMASTER, 1992). Além disso, o estudo de Falkner, Sooriamurthi, e Michalewicz, (2012) descreve ainda que se trata de uma abordagem que tem uma tradição no contexto educacional, especialmente no ensino e na aprendizagem da matemática, muito mais longa do que apenas 60 anos.

Entretanto, no contexto brasileiro, a tradução direta do termo *puzzle* costuma se restringir à noção de “quebra-cabeça”, frequentemente associada à imagem de um objeto físico formado por peças a serem montadas. Essa compreensão limitada tende a empobrecer o significado da abordagem mencionada, pois desconsidera seu potencial intelectual mais amplo, que envolve raciocínio lógico, pensamento crítico, investigação e resolução de problemas, competências centrais para os processos de ensino e aprendizagem no século XXI. Nesse sentido, Michalewicz (2008) alerta que os quebra-cabeças devem contemplar ao menos um dos seguintes critérios, ou seja, generalidade, ao possibilitar que o jogador desenvolva capacidades transferíveis para a resolução de problemas reais; simplicidade, quando o desafio e sua solução permanecem facilmente registrados na memória; entretenimento, ao estimular o interesse e o engajamento na resolução do problema; e, por fim, o momento Eureka, caracterizado pelo encaixe progressivo das peças, acompanhado de feedback e recompensa imediata após cada avanço.





Nesse ínterim, consideramos que a tradução técnica do termo configura um ponto sensível, pois existe uma assimetria semântica relevante entre o inglês e o português. Diante dessa limitação, esta proposta se orienta pelo uso de elementos como mistério, descoberta e pensamento investigativo, articulados sob a perspectiva da Didatização Lúdica (CLEOPHAS; SOARES, 2018). Assim, adotaremos o termo Aprendizagem Baseada em Enigmas, por se considerar uma tradução não apenas adequada, mas também semanticamente mais abrangente e significativa para o público brasileiro do que a expressão “quebra-cabeça”. Nessa perspectiva, consideramos o termo enigma como toda estrutura de problema autônoma que demanda do estudante não apenas a aplicação mecânica de procedimentos ou fórmulas, mas a realização de um salto cognitivo, caracterizado pelo *insight* necessário para sua resolução. Sob esse entendimento ampliado, o conceito de enigma passa a abarcar diferentes tipologias de desafios, que se organizam a partir de múltiplas formas de raciocínio e investigação, tais como apresentadas, de modo resumido, no Quadro 1.



Quadro 1: Tipologias de desafios e alguns exemplos

Tipologias de Quebra-cabeças (Puzzles)	Exemplos
Enigmas Espaciais/Mecânicos	Desafios que envolvem a manipulação física ou mental de peças e formas (ex: tangram, cubo mágico, jigsaw, poliminós, labirintos, labirintos unicursais, figura-fundo, etc.).
Enigmas Lógicos Dedutivos	Problemas que exigem dedução matricial ou sequencial (ex: teste de Einstein, sudoku, kakuro, grelhas lógicas (<i>logic grids</i>), nonogramas (<i>picross</i>), criptogramas, caixas de segredo, torre de Hanói, quadrados mágicos, palavras-cruzadas, cavaleiros e vilões, problemas de travessia de rio (<i>river crossing puzzles</i>), etc.).
Enigmas Linguísticos	Charadas, jogos de palavras, rebus e códigos cifrados que exploram a semântica e a sintaxe, por exemplo, charadas, rebus, anagramas, cifras de substituição, charadas/adivinhação, caça-palavras ¹ , cifra de César, pigpen, acrósticos etc.
Enigmas Investigativos e Laterais	Situações que exigem pensar 'fora da caixa' para encontrar uma solução criativa e não linear, por exemplo, pensamento lateral, koans, histórias de situação e de mistérios, caça tesouros, caixa-preta, etc.

Fonte: Elaborado pelos(as) autores(as).

Diante do exposto, estabelecemos que o termo ‘puzzle’, entendido em nossa pesquisa como ‘enigma’, abarca todo o conjunto dos exemplos dados acima que podem ser adaptados para o ensino de ciências/química, necessitando, apenas, durante a sua elaboração, de criatividade e alinhamento com os

¹ Sobre o caça-palavras, se fôssemos criar uma subcategoria técnica para ele, seria Enigma de Varredura Visual Baseado em Léxico, ou seja, um enigma linguísticos e verbais.



níveis que opera (macroscópico, submicroscópico e representacional/simbólico, humano), pois a química, oferece matéria-prima para todos os tipos de enigmas classificados acima². A ABE, portanto, tende a se destacar como uma abordagem inovadora e eficaz no ensino de química, promovendo benefícios que vão além da simples memorização de conteúdos, já que contribui no desenvolvimento de habilidades de resolução de problemas, pensamento crítico e colaboração (FALKNER; SOORIAMURTHI; MICHALEWICZ, 2012; IDIKA et al., 2024; TARASEK et al., 2024); motivação e engajamento dos estudantes (FALKNER; SOORIAMURTHI; MICHALEWICZ, 2010; ADZAPE et al., 2020; YUANYUAN HU et al., 2022; FONTES et al. 2024); aumento da confiança e engajamento (BADGER et al., 2012); melhoria do desempenho e retenção dos conteúdos (ADZAPE et al., 2020;) e até redução da ansiedade dos alunos diante do medo de conteúdos difíceis (YURIEV Et al., 2016; STOJANOVSKA et al., 2020), entre outros efeitos relevantes à aprendizagem.



Além disso, a Aprendizagem Baseada em Enigmas (ABE) contribui para tornar as aulas mais interativas e envolventes, ampliando o interesse e a motivação dos estudantes para aprender Química (Adzape et al., 2020). Essa abordagem tem sido reconhecida, no contexto contemporâneo, como um modelo emergente para o desenvolvimento do pensamento crítico e da resolução de problemas no ensino do século XXI (BUTLER et al., 2017). Conforme Meyer (2014), a ABE se caracteriza como uma proposta de aprendizagem fundamentada em desafios do tipo *puzzle*, por meio dos quais os alunos constroem o próprio conhecimento a partir de problemas apresentados, com o objetivo de aprimorar a capacidade de raciocínio diante de situações não estruturadas. Essa perspectiva, portanto, se articula diretamente com a Didatização Lúdica, entendida como uma vertente da Didática que planeja, orienta e regula experiências de aprendizagem sustentadas por jogos e por outras atividades lúdicas, sob uma intencionalidade lúdica claramente definida, pois tal abordagem busca promover ganhos cognitivos, afetivos, regulatórios, criativos e sociais, sem comprometer o rigor acadêmico que caracteriza os processos formativos.

Teoria da Carga Cognitiva (TCC) e a Aprendizagem Baseada em Enigmas (ABE)

Estudos apontam que pensar intuitivamente corresponde a um modo de pensamento caracterizado pela abordagem concreta e direta dos fenômenos, com predominância de processos indutivos e do uso de formas não simbólicas para representar, processar e reconhecer informações (KURNIAWATI, 2014). Com base nessa descrição, a capacidade de pensar de forma intuitiva em Química, que constitui o foco desta pesquisa ao utilizar a ABE, se refere à habilidade do indivíduo de resolver problemas químicos a partir de informações previamente armazenadas na memória de trabalho,

² No contexto da Didatização Lúdica (CLEOPHAS; SOARES, 2018), se faz necessária uma precisão terminológica para evitar a sobreposição de conceitos distintos. Defendemos que a **Aprendizagem Baseada em Enigmas (ABE)** é uma atividade lúdica, logo, não deve ser classificada automaticamente como um "jogo", mas sim como uma abordagem pedagógica autônoma que amplia o repertório de estratégias lúdicas disponíveis ao docente e à sala de aula.



articulando-as com representações visuais, simbólicas ou fenomenológicas, bem como com estímulos de natureza auditiva quando presentes, pois o uso de enigmas no ensino reforçam habilidades como curiosidade, observação, interpretação e o cultivo de uma mentalidade aberta (JOHNSON, 1962).

Diante do exposto, a Teoria da Carga Cognitiva (TCC) orienta a escolha de estratégias de ensino para otimizar o aprendizado, ajustando métodos ao nível de conhecimento do aluno e à complexidade da tarefa. Em outras palavras, a TCC destaca que a memória de trabalho é limitada, e o excesso de informações pode prejudicar a aprendizagem. Por isso, os estudos de Jong et al. (2010), Merriënboer et al. (2010) e Ghanbari et al. (2020) denotam que estratégias de ensino devem minimizar a carga extrínseca (informações desnecessárias), ajustar a carga intrínseca (complexidade do conteúdo) e promover a carga germânica (processos que favorecem a aprendizagem profunda). A referida tríade (carga extrínseca, carga intrínseca e carga germânica), interage diretamente com a capacidade da memória de trabalho que é limitada e que só pode processar uma quantidade restrita de informações ao mesmo tempo, como efeito, tal limitação influencia o quanto o aluno consegue aprender de fato. O Quadro 2 a seguir apresenta um compilado sobre a TCC e a sua relação direta com a memória de trabalho.

Quadro 2: Definições dos tipos de carga cognitiva e sua relação com a memória de trabalho

Tipo de Carga Cognitiva	Definição
Carga Intrínseca	Se relaciona à complexidade inerente do conteúdo ou tarefa, determinada pelo número de elementos e suas inter-relações. Quanto mais complexa a tarefa, maior a demanda sobre a memória de trabalho (YOUNG et al., 2024; WANG et al., 2022);
Carga Extrínseca	Se refere a demandas desnecessárias impostas pelo modo como o material é apresentado ou pelo ambiente, como instruções confusas ou distrações. Essa carga ocupa espaço na memória de trabalho sem contribuir para o aprendizado, podendo prejudicar o desempenho (YOUNG et al., 2014; WILBY, PARAVATTIL, 2021).
Carga Germânica	Diz respeito ao esforço mental dedicado à construção e automação de esquemas (estruturas de conhecimento) na memória de longo prazo. É considerada produtiva, pois utiliza a memória de trabalho para promover a aprendizagem profunda e a formação de novos conhecimentos (WANG et al., 2022; CLARK et al., 2023)

Fonte: Elaborado pelos(as) autores(as).

Conforme podemos observar a partir do Quadro 2, a memória de trabalho é o grande cerne das discussões da TCC. Em comunhão ao exposto, Thiele et al. (2022) dão um papel singular a memória de trabalho ao enfatizarem que ela desempenha um papel vital nos processos cognitivos relacionados à inteligência geral, como raciocínio, aprendizagem e compreensão. Ademais, a Teoria da Carga Cognitiva (TCC) destaca que a memória de trabalho humana é limitada em capacidade e duração, sendo facilmente sobre carregada por materiais instrucionais mal planejados (PAAS et al., 2003; SKULMOWSKI et al., 2021). Por isso, é recomendável que ao elaborar os enigmas, eles sejam elaborados para minimizar cargas



desnecessárias (carga extrínseca), ajustar a complexidade do conteúdo (carga intrínseca) e promover processos que favoreçam a aprendizagem efetiva (carga germânica). Portanto, materiais didáticos ou qualquer outro recurso utilizado no ensino quando baseados na TCC aumentam a eficiência da aprendizagem, especialmente em ambientes digitais e multimídia, ao reduzir distrações e alinhar o conteúdo ao nível de conhecimento prévio do aluno (SURBAKTI et al., 2024). Ainda, segundo Sweller et al. (2011), práticas pedagógicas mais eficazes devem atuar no controle da carga intrínseca, assegurando que a complexidade dos conteúdos de aprendizagem esteja adequada ao nível de habilidades e aos conhecimentos prévios dos estudantes.

Prontamente, podemos inferir que a compreensão e o equilíbrio entre carga intrínseca, extrínseca e germânica são fundamentais para otimizar o uso da memória de trabalho e potencializar o aprendizado em química. Contudo, é necessário durante a elaboração dos enigmas priorizar a redução de cargas desnecessárias para que o uso da abordagem ABE possa favorecer a construção de conhecimento duradouro. Assim, ao propor desafios por meio de enigmas no ensino de química, pode se tornar possível o aumento do engajamento e promoção da construção ativa de esquemas mentais, desde que o design das atividades respeite os limites da memória de trabalho, conforme alertado por Portela e Oliveira (2020). Além disso, A TCC defende que a aprendizagem só pode ser bem-sucedida quando os materiais e procedimentos instrucionais são concebidos em conformidade com a arquitetura cognitiva humana (KRIEGLSTEIN et al., 2023). Portanto, é possível empregar estratégias para minimizar a sobrecarga cognitiva durante a elaboração dos enigmas. Por exemplo, a divisão de tarefas complexas em etapas menores, pois facilita o processamento gradual de conceitos químicos complexos (FALCADE; ABEGG; FALCADE, 2020); o uso de exemplos resolvidos e pistas porque pode reduzir a carga extrínseca, permitindo que o foco do aluno seja direcionado à resolução do enigma e à compreensão conceitual (Portela; Oliveira, 2020), e, por fim, a integração de conhecimentos prévios aos enigmas, pois as atividades que conectem os enigmas ao cotidiano ou a experiências anteriores ampliam a capacidade da memória de trabalho e podem favorecer a aprendizagem (MOREIRA, 2021).

DESENHO METODOLÓGICO

Caracterização da Pesquisa

Esta pesquisa é de natureza qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, com abordagem do tipo intervenção pedagógica (DAMIANI et al., 2013). No contexto investigado, empregamos a pesquisa qualitativa por se destacar por sua flexibilidade, profundidade e capacidade de gerar insights detalhados sobre realidades pouco exploradas ou difíceis de quantificar.



Contexto e Participantes

A pesquisa ocorreu numa instituição pública federal brasileira, num curso de formação inicial de professores de química, durante aulas de uma disciplina da área de ensino de Ciências no primeiro semestre de 2025. No âmbito dessa intervenção pedagógica, adotamos o método de amostragem proposital (STRATTON, 2021) para a definição dos participantes, uma vez que a pesquisadora atuava como professora da disciplina em que se desenvolveu a Abordagem Baseada em Enigmas. O estudo contou com a participação de 19 licenciandos em Química, sendo 12 do gênero feminino e 7 do gênero masculino, com média de idade de 26,6 anos. A participação ocorreu de forma voluntária, com garantia de sigilo, anonimato e observância das normas éticas vigentes. Assim, sempre que necessário, os trechos extraídos das respostas dos participantes são identificados pela sigla Pi (Professor(a) em formação inicial), seguida de numeração sequencial, como Pi1, Pi2, ..., Pi19.

Desenho da intervenção pedagógica utilizando a Abordagem Baseada em Enigmas

O presente estudo analisa as percepções de estudantes em formação inicial em Química acerca de uma proposta de intervenção pedagógica que integrou a Aprendizagem Baseada em Enigmas (ABE). A investigação se concentrou, especificamente, na compreensão dos efeitos da carga cognitiva em função dos enigmas utilizados a partir das percepções autodeclarados estudantes. No entanto, para a implementação da intervenção pedagógica, adotamos uma metodologia ativa denominada Rotação por Estações, a qual organiza o espaço da sala de aula em diferentes estações, cada uma composta por atividades distintas. Essa metodologia permite que os estudantes trabalhem de forma colaborativa ou individual, com rodízio previamente planejado entre as estações. Nesse processo, o professor assume o papel de mediador, oferecendo suporte pedagógico e *feedback* contínuo, enquanto os alunos desenvolvem maior autonomia e interagem de maneira colaborativa (PIRES; SILVA; BARBOSA, 2021).

Cada estação foi estruturada com um conjunto de enigmas relacionados à Química, orientados por uma perspectiva sociocientífica, que deveriam ser resolvidos de forma colaborativa pelos grupos. Em cada estação, os estudantes tiveram acesso a um computador conectado à internet, no qual os enigmas estavam organizados em formato de slides, bem como a um formulário digital destinado ao registro das respostas correspondentes àquela estação. No total, os grupos resolveram oito enigmas distribuídos em quatro estações contendo enigmas sobre questões sociocientíficas (Figura 1). O Quadro 3 exibe informações sobre cada estação. Ressaltamos que todos os enigmas utilizados se encontram disponíveis para uso gratuito (no final do texto). Ao final da intervenção, os participantes responderam um questionário individual, com o objetivo de coletar dados relacionados ao objeto de investigação deste artigo. Posteriormente, realizou-se uma sessão de *debriefing* com toda a turma, caracterizada como uma conversa orientada após a atividade, na qual os estudantes compartilharam suas percepções, analisaram as ações desenvolvidas, identificaram potencialidades e aspectos passíveis de aprimoramento,

transformando experiências subjetivas em conhecimento mais objetivo e passível de transferência para outros contextos educativos (SANCHEZ et al., 2018).

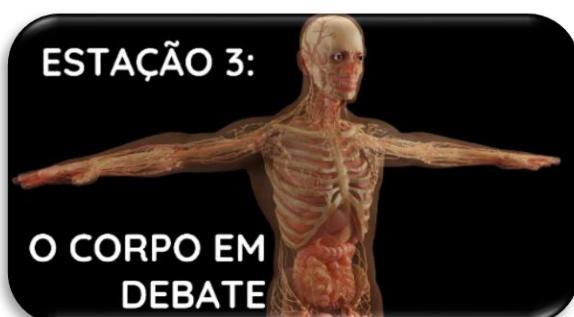


Figura 1: Temas utilizados nas estações para produzir os enigmas químicos.

Fonte: Elaborado pelos(as) autores(as).

Quadro 3: Estações, questões sociocientíficas e conteúdos químicos

Estação	Questão sociocientífica (síntese)	Enigmas trabalhados	Conceitos químicos centrais
QSC-1 Planeta em sacolas?	Impactos ambientais do consumo de plásticos e das emissões de gases de efeito estufa	Enigma 1: identificar o resíduo problema; Enigma 2: relacionar emissões ao efeito estufa; Enigma 3: associar sistemas de refrigeração à destruição da camada de ozônio	Polímeros e materiais plásticos; dióxido de carbono e efeito estufa; CFCs e depleção da camada de ozônio.
QSC-2 O preço do progresso	Benefícios e riscos de substâncias e tecnologias químicas ligadas à industrialização e à energia	Enigma 4: deduzir a geometria de uma molécula; Enigma 5: identificar um elemento a partir de indícios; Enigma 6: relacionar radioatividade a mineração/energia	Geometria molecular (por exemplo, piramidal trigonal, bipiramidal trigonal); amônia (NH_3); tabela periódica (Li, Po, Ra); radiações alfa e radioatividade.
QSC-3 O corpo em debate	Uso de drogas lícitas/ilícitas e fármacos que atuam	Enigma 7: relacionar estrutura a droga sintética; Enigma 8: conectar um	Estrutura e função de metanfetamina e dopamina; quiralidade e isomeria



Estação	Questão sociocientífica (síntese)	Enigmas trabalhados	Conceitos químicos centrais
	no sistema nervoso central	neurotransmissor a características estruturais	óptica; identificação de carbonos assimétricos.
QSC-4 Sociedade e substâncias	Tráfico de drogas, pureza e quantidades de substâncias químicas apreendidas	Enigma 9: calcular massa/quantidade de droga; Enigma 10: identificar a substância ilícita	Proporcionalidade e cálculo de massa; identificação de cocaína e etanol; relação entre quantidade de substância e impacto social.

Fonte: Dados da pesquisa.

Instrumentos de Coleta de Dados e análise

Ao término da intervenção pedagógica, a experiência foi avaliada por meio da aplicação de um questionário (Quadro 4) cujo objetivo era levantar as percepções dos professores em formação inicial acerca dos efeitos dos enigmas em função da carga cognitiva. O questionário aplicado continha quatro questões abertas, nove itens assertivos, dispostos por meio de uma escala ordinal, do tipo Likert, de quatro pontos, sem o neutro (CLEOPHAS; CUNHA, 2020), variando de 1= Discordo Totalmente, 2= Discordo, 3= Concordo, 4= Concordo Totalmente e, por fim, um item também disposto em escala ordinal, porém, de 10 pontos. Ela foi utilizada para medir o grau de satisfação dos estudantes em relação a atividade usando a abordagem ABE. Sobre a adesão à retirada do ponto neutro da escala, estudos mostram que a sua exclusão não altera significativamente as médias compostas, mas pode afetar respostas individuais dependendo do contexto e da sensibilidade do tema (GUY; NORVELL, 1977).

Quadro 4: Questionário aplicado na pesquisa

Código	ASSERTIVAS (questões fechadas)
ABE1	A resolução deste enigma exigiu um grande esforço mental da minha parte.
ABE2	A complexidade do conteúdo químico em si foi o principal desafio.
ABE3	A forma como o enigma foi apresentado (texto e imagem) foi clara e fácil de entender.
ABE4	As informações fornecidas (no enigma ou na imagem) foram suficientes para resolver o desafio proposto.
ABE5	Senti-me sobrecarregado(a) com a quantidade de informações apresentadas de uma só vez.
ABE6	O formato do enigma me ajudou a conectar o conceito químico com a Questão Sociocientífica (QSC) de forma significativa.
ABE7	As imagens foram úteis e que facilitou a compreensão do problema.
ABE8	O enigma despertou minha curiosidade e me motivou a buscar a solução.
ABE9	Gostei de resolver os problemas de modo colaborativo com o(a) meu/minha colega.
QUESTÕES ABERTAS (QA)	
Qual foi o aspecto mais desafiador do enigma para você? Por favor, explique o porquê.	
Qual foi o aspecto mais engajante ou interessante do enigma? O que mais lhe chamou a atenção?	



Focando especificamente nas imagens apresentadas em cada enigma, como elas contribuíram (ou atrapalhou) sua experiência de resolução? Você acha que a estética foi eficaz para discutir temas científicos?
Pensando como um(a) futuro(a) professor(a) de Química: você se sentiria confortável para aplicar uma atividade como esta numa turma de Ensino Médio? Quais seriam os principais benefícios e os maiores desafios na sua opinião?
Se você pudesse melhorar um aspecto deste enigma (o texto, a imagem, o desafio químico, etc.), o que você mudaria e por quê?
SONDAGEM DE SATISFAÇÃO (atribuição de nota de 1 a 10)


Fonte: Elaborado pelos(as) autores(as).



Adicionalmente, os dados provenientes das questões fechadas foram organizados e interpretados sob uma perspectiva qualitativa, com apoio do software Microsoft Excel®, versão 2020. Em relação à questão aberta, o formato adotado possibilitou que os estudantes expressassem livremente seus pensamentos, sem restrições prévias, o que favoreceu a identificação e a compreensão das percepções evidenciadas a partir dos instrumentos de coleta de dados. Esses registros foram submetidos à análise temática, conforme proposta por Braun e Clarke (2012), com o objetivo de agrupar os sentidos expressos em padrões analíticos, organizados em códigos e temas. Para auxiliar o processo de codificação, utilizamos a plataforma Voyant Tools³. Optamos por uma abordagem indutiva para a construção das categorias analíticas, permitindo que os significados emergissem diretamente do material empírico, o que contribuiu para interpretações mais alinhadas às experiências dos participantes e ao contexto investigado (LOCHMILLER, 2021). A Figura 3 apresenta as etapas adotadas na constituição dos temas finais da análise temática. Por fim, os resultados foram sistematizados e apresentados com base na análise das percepções dos estudantes que integraram a amostragem proposital, por meio de gráficos, quadros e, quando pertinente, tabelas.

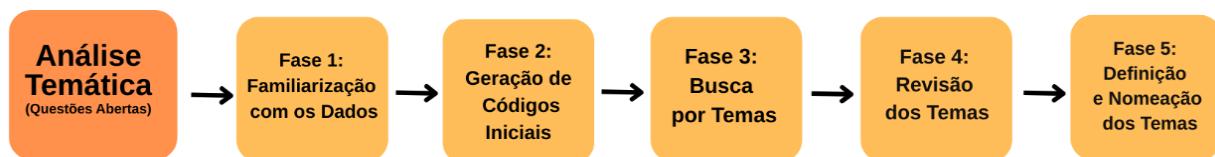


Figura 2: Etapas da AT.
Fonte: Adaptada a partir de Braun e Clarke (2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

³ Voyant Tools é uma plataforma online gratuita e de código aberto voltada para análise e visualização de textos digitais. A plataforma oferece mais de 20 ferramentas, incluindo nuvem de palavras (Cirrus), análise de frequência, gráficos de tendências, análise de tópicos (LDA), correlação de termos, análise de coligações e visualizações interativas. Suporta múltiplos formatos de texto (TXT, PDF, Word, HTML, XML) e permite análise de corpora extensos ou textos individuais (SINCLAIR; ROCKWELL, 2021).



Os resultados desta pesquisa são organizados em seções. A primeira seção apresenta a análise descritiva dos itens da escala Likert, discutindo as percepções autodeclaradas dos futuros professores de Química acerca da carga cognitiva associada aos enigmas utilizados na intervenção pedagógica fundamentada na Aprendizagem Baseada em Enigmas. Já a segunda seção, se dedicará à apresentação e à discussão dos dados exploratórios, oriundos da análise temática das questões abertas.

Seção I - Análise descritiva dos dados da Escala Likert

Os dados obtidos a partir do questionário aplicado a 19 estudantes, utilizando a escala Likert de 4 pontos para mensurar suas percepções sobre uma atividade educacional baseada em enigmas químicos com enfoque em questões sociocientíficas (QSC) em função da carga cognitiva autopercebida, revelam um padrão predominantemente positivo nas avaliações dos estudantes em função dos itens respondidos. Assim, considerando o conjunto total de 171 respostas (19 estudantes × 9 itens), observamos que 75,4% das respostas se concentram nas categorias de concordância (Concordo + Concordo Totalmente), enquanto apenas 9,9% expressam discordância total e 14,6% discordância parcial. Ademais, optamos em obter alguns dados (métricas) oriundos da nossa escala Likert em função dos itens, pois eles demonstram características sobre a nossa amostra investigada. A Tabela 1 exibe tais dados. Em complemento, o Gráfico 1, exibe as distribuições percentuais das respostas em escala Likert para os itens de ABE1 a ABE9.

No conjunto de enigmas utilizados, cada item da escala Likert está associado a grupos específicos de conceitos químicos e de questões sociocientíficas. Os enigmas da Estação QSC-1 abordam plásticos descartáveis, gases do efeito estufa e CFCs em cenários de poluição e aquecimento global; a Estação QSC-2 trabalha geometria molecular, amônia, elementos da tabela periódica e radioatividade em contextos de progresso tecnológico e riscos ambientais; a Estação QSC-3 discute metanfetamina e dopamina, relacionando estrutura molecular, quiralidade e efeitos no sistema nervoso; e a Estação QSC-4 explora cálculos de massa e pureza de cocaína e etanol em situações de tráfico e apreensão de drogas. Assim, itens como ABE1 e ABE2 captam o esforço mental e a complexidade percebida nesses conteúdos, enquanto ABE6, ABE7 e ABE8 se referem diretamente à capacidade dos enigmas de conectar conceitos químicos às QSC e de despertar curiosidade por meio de imagens e narrativas.

Tabela 1: Métricas e valores relacionados aos itens da escala Likert

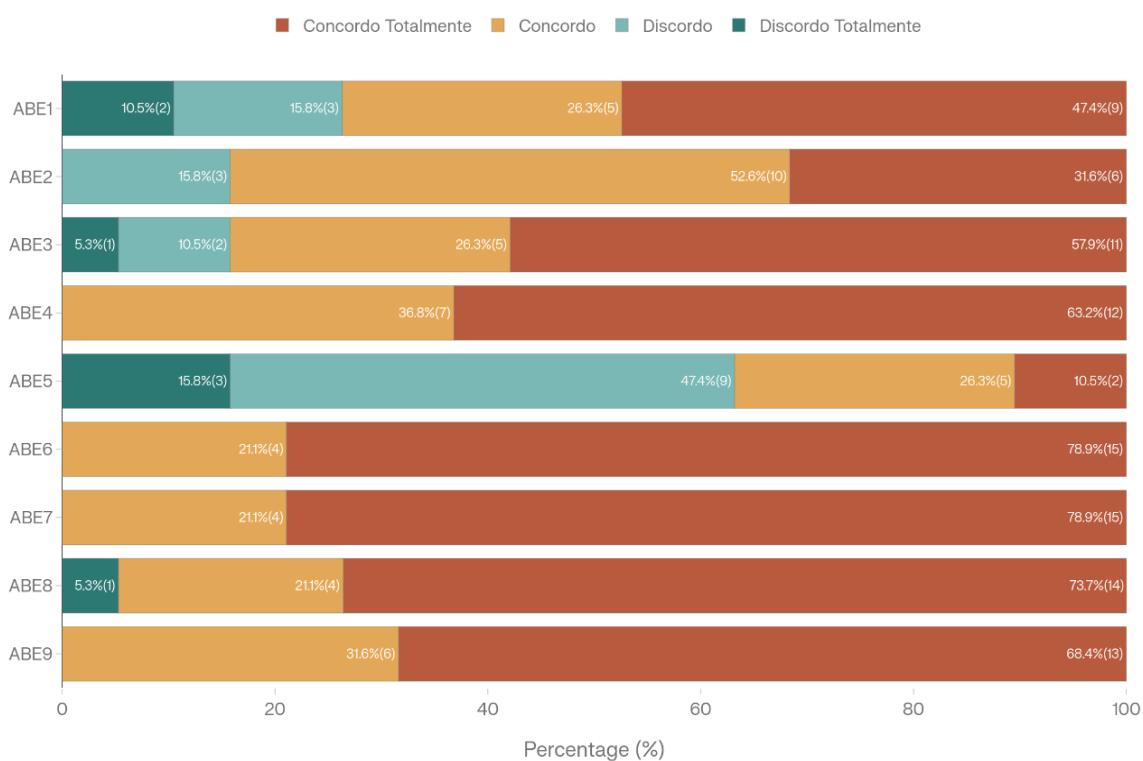
Métrica	Valor
Média Geral	3,39
Itens com aprovação excepcional (média)	≥ 3,60
Itens com aprovação moderada (média)	entre 3,00 e 3,59



Métrica	Valor
Item com aprovação baixa (média)	< 3,00
Concordância média geral	74,1%
Itens bem avaliados	55,6% (5 de 9)
Itens mal avaliados	11,1% (1 de 9)

Fonte: Dados da pesquisa.

Gráfico 1: Distribuição de respostas por item avaliado da escala Likert



Fonte: Dados da pesquisa.

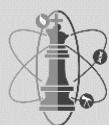
Na sequência, analisamos o desempenho dos itens por grupo. Nesse intento, o grupo de assertivas com maior média (Itens com Aprovação Excepcional) foi composto pelos itens ABE6 e ABE7 que obtiveram os resultados mais expressivos, com média de 3,79 cada. Ambos apresentam 78,9% de concordância total e 21,1% de concordância, sem nenhuma resposta negativa. Esta unanimidade positiva sugere que estes aspectos da atividade foram particularmente eficazes. Isto denota que o ‘formato do enigma ajudou o aluno a conectar o conceito químico com a Questão Sociocientífica (QSC) de forma significativa’ (ABE6) e que as ‘imagens foram úteis e facilitou a compreensão do problema’ (ABE7). Já o item ABE9 ‘Gostei de resolver os problemas de modo colaborativo com o(a) meu/minha colega’, registrou uma média de 3,68, com 68,4% de concordância total e 31,6% de concordância. A ausência de respostas



negativas indica uma recepção uniformemente positiva entre os alunos. Fechando este bloco de maior desempenho observado em função dos itens, as assertivas ABE4 e ABE8 apresentaram média de 3,63. O ABE4 ‘as informações fornecidas (no enigma ou na imagem) foram suficientes para resolver o desafio proposto’, teve 63,2% de concordância total e 36,8% de concordância, enquanto o ABE8 ‘o enigma despertou minha curiosidade e me motivou a buscar a solução’, mostrou 73,7% de concordância total, 21,1% de concordância e apenas 5,3% (1 estudante) de discordância total.

Esses resultados sugerem que, nos tópicos em que os enigmas enfatizam a identificação e contextualização de conceitos (por exemplo, reconhecer CO₂ e CFCs na Estação 1, conectar amônia e lítio a situações de risco na Estação 2, ou relacionar dopamina e cocaína a efeitos no corpo e na sociedade nas Estações 3 e 4), a carga cognitiva foi percebida como manejável e produtiva, favorecendo a construção de sentido para os conteúdos. Ainda, podemos considerar que esses resultados apontam que os enigmas dispostos em imagens estão em plena consonância com a literatura no que se refere a TCC, pois, segundo Masceno, Monteiro e Bastos Filho (2024), as imagens facilitam a retenção e o processamento de informações ao ativar o canal visual da memória de trabalho, permitindo que o cérebro distribua a carga entre os sistemas visual e verbal, pois isto pode aumentar a eficiência do processamento e a capacidade de armazenamento temporário de informações relevantes. No que tange à resolução dos enigmas de modo colaborativo, há estudos que sugerem que a maior parte da informação adquirida e armazenada na memória de longo prazo é emprestada das memórias de longo prazo de outras pessoas (KIRSCHNER et al., 2018). Os alunos também concordaram que as imagens fornecidas nos enigmas foram suficientes para que eles resolvem os problemas impostos, isto, se alinha com as pesquisas de Falcade et al. (2021), pois, segundo estes autores, a integração de imagens e palavras, quando bem coordenada, favorece a construção de modelos mentais mais robustos e facilita a transferência para a memória de longo prazo, desse modo, podemos inferir que pode ter ocorrido transferências de informações entre a memória de trabalho e a memória de longo de longo prazo.

Por fim, os discentes também concordaram que os enigmas despertaram suas curiosidades e os motivou a buscar soluções. Sobre isto, percebemos que os enigmas podem ter contribuído para despertar o pensamento crítico dos alunos, já que ele começa quando os indivíduos exploram eventos que impactam seu comportamento, sejam eles naturais ou sociais (BROOKFIELD, 2012), tais como as questões sociocientíficas (Figura 1, Quadro 3) utilizadas nas construções dos enigmas. Dando seguimento, alguns itens obtiveram aprovação moderada (média entre 3,00 e 3,59), por exemplo, o item ABE3 ‘a forma como o enigma foi apresentado (texto e imagem) foi clara e fácil de entender’, alcançou média de 3,37, com 57,9% de concordância total e 26,3% de concordância. No entanto, registrou 10,5% de discordância e 5,3% de discordância total, indicando que uma pequena minoria apresentou reservas. Já o item ABE2 ‘a complexidade do conteúdo químico em si foi o principal desafio’, obteve média de 3,16, com



distribuição mais equilibrada, ou seja, 31,6% de concordância total e 52,6% de concordância e 15,8% de discordância, tal distribuição sugere uma percepção majoritariamente positiva, mas menos entusiástica. Finalmente, o item ABE1 ‘a resolução deste enigma exigiu um grande esforço mental da minha parte’ registrou média de 3,11, apresentando 47,4% de concordância total, 26,3% de concordância, 15,8% de discordância e 10,5% de discordância total. Esta maior dispersão de respostas indica opiniões mais variadas.

No entanto, o fato de ABE2 e ABE1 apresentarem maior dispersão indica que conteúdos com alta interatividade de elementos, como geometria molecular, radioatividade, estereoquímica e cálculos de massa, tendem a exigir mais esforço dos estudantes, especialmente quando apresentados em enigmas com múltiplas pistas textuais e visuais. Esses itens, portanto, demarcam os conceitos nos quais a ABE impõe maior carga intrínseca e nos quais o design do enigma precisa ser mais cuidadoso para evitar sobrecarga extrínseca. Assim, a síntese dos achados acima demonstra que os enigmas elaborados com imagens e textos na abordagem ABE foram considerados eficazes pelos alunos, pois não houve indícios que denotem prejuízo à compreensão dos estudantes. Isto dialoga diretamente com o estudo de Andersen (2020) que assegura que a leitura de imagens, especialmente quando associada a textos, pode estimular a criação de cenários mentais, aumentando, dessa maneira, o interesse e mantendo a atenção, fatores estes que consideramos essenciais para a memória de trabalho.

Além disso, os alunos consideraram elevada a complexidade do conteúdo químico, pois se somarmos o percentual de concordância autodeclarado entre totalmente de acordo e de acordo apenas, teremos um percentual de 84,2%, revelando que a carga cognitiva intrínseca refletiu a complexidade natural dos conteúdos de aprendizagem (SWELLER, 2010), no entanto, ela pode ter sido alterada pela utilização dos enigmas ou do conhecimento químico armazenado na memória de longo prazo, conforme os resultados já observados por meio de outras assertivas. Vale lembrar que a alta complexidade da tarefa é frequentemente percebida como prejudicial à aprendizagem, pois pode diminuir a motivação intrínseca para aprender (CARMONA-HALTY et., 2021). Prontamente, o item que atrelado à quantidade de esforço mental para a resolução do enigma, demonstrou que a maioria dos alunos concordaram com esta afirmação, no entanto, este resultado corrobora diretamente com a TCC, pois, Paas e Van Merriënboer (2020) defendem que, a carga cognitiva se refere à quantidade de recursos mentais exigidos por uma tarefa (no nosso caso, a resolução de desafios), sendo influenciada pela complexidade do conteúdo que se refere à carga intrínseca (no caso deste estudo, os conhecimento químico), e pelo design da tarefa, relacionado à carga extrínseca (neste estudo, ele estavam em formato de enigmas) e pelo engajamento do aprendiz (carga germânica).

Por fim, encerrando as discussões da Seção I, se observa que o item com menor nível de aprovação (média < 3,00) foi o ABE5, formulado como ‘senti-me sobrecarregado(a) com a quantidade de



informações apresentadas de uma só vez⁴. Esse item se destacou negativamente, com média de 2,32, se configurando, desse modo, como o único abaixo do ponto médio da escala analisada. Logo, em termos percentuais, se registrou 10,5% de concordância total, 26,3% de concordância, 47,4% de discordância e 15,8% de discordância total, o que indica que a maioria dos estudantes (63,2%) discordou da afirmação proposta. Por outro lado, esse resultado sugere que os participantes não perceberam sobrecarga cognitiva associada à quantidade de informações apresentadas nos enigmas. Ao contrário, os dados indicam a presença de esforço mental direcionado à resolução das tarefas, evidenciando que os estudantes investiram energia cognitiva no enfrentamento dos desafios propostos. No entanto, Schnaubert e Schneider (2022) alertam que tal esforço pode variar em função de fatores como motivação, autopercepção e estratégias de autorregulação mobilizadas durante a atividade.

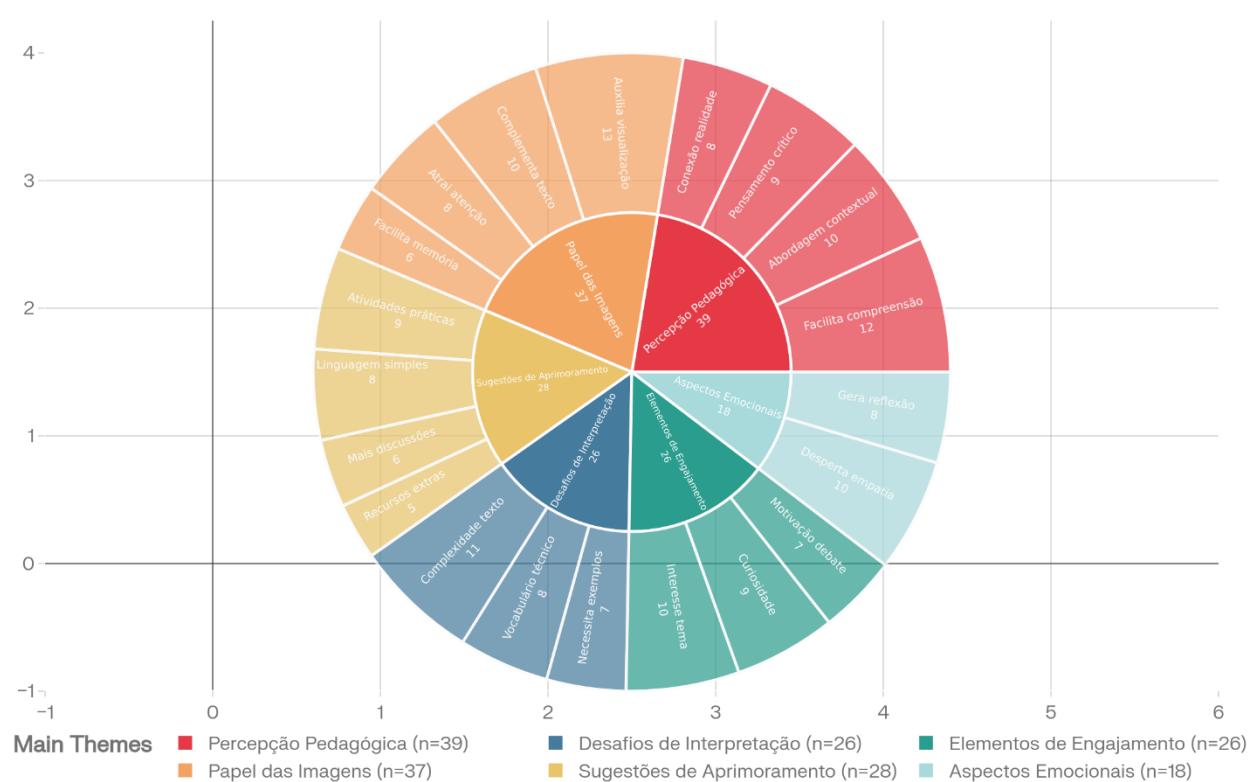


Seção II⁴ - Discussão exploratória por meio da Análise Temática das questões abertas

As respostas às questões abertas do questionário foram submetidas a uma análise temática completa, conduzida de acordo com os procedimentos sistematizados por Braun e Clarke (2006). O corpus analítico foi constituído por respostas de 19 participantes, distribuídas em cinco questões abertas, totalizando 95 registros textuais. A partir desse material, realizamos processos sucessivos de leitura, codificação e organização dos dados, resultando na identificação de 220 segmentos codificados e na consolidação de 168 códigos únicos. Logo, esse volume de códigos evidencia a diversidade e a riqueza das percepções expressas pelos participantes, fornecendo uma base empírica robusta para a construção dos temas analíticos que fundamentam a interpretação qualitativa dos resultados. A seguir, é apresentado o Gráfico 2 com os temas e subtemas mais relevantes identificados na análise qualitativa das percepções dos licenciandos de Química sobre a atividade de enigmas sociocientíficos. O diagrama de explosão solar (Gráfico 2) destaca temas-chave como **Percepção pedagógica, Papel das imagens, Elementos de engajamento, Desafios de interpretação, Sugestões de aprimoramento** e **Aspectos emocionais**, juntamente com suas subcategorias associadas, fornecendo uma representação visual da profundidade e da distribuição do feedback dos estudantes em relação ao uso de enigmas no ensino de Química.

Gráfico 2: Temas e subtemas obtidos na Análise Temática

⁴ Nesta seção, optamos em Temas para facilitar a leitura dos exemplos extraídos das falas dos participantes da pesquisa.



Fonte: Dados da pesquisa.

Em relação ao tema '**Percepção Pedagógica**', os resultados da análise temática indicam que os licenciandos em Química perceberam a ABE como pedagogicamente promissora, visualmente marcante e cognitivamente desafiadora, mas com necessidade de ajustes para reduzir ambiguidades e carga de informação desnecessária. Portanto, do ponto de vista pedagógico, o que nos chama atenção é a unanimidade em relação à intenção de aplicar a proposta em turmas de Ensino Médio, com ênfase em benefícios como aumento do engajamento, estímulo ao pensamento crítico, desenvolvimento de autonomia e possibilidade de articular conteúdos químicos a questões socioambientais. Ao mesmo tempo, emergiram preocupações recorrentes com desafios estruturais (tempo de aula, recursos tecnológicos, heterogeneidade da turma), o que situa a atividade dentro do debate sobre implementação de metodologias ativas em contextos reais de escola, conforme já mencionado por Spencer (2024) e Alotaibi (2024). A seguir, apresentamos alguns excertos que exemplificam o tema Percepção Pedagógica.

“Eu aplicaria com certeza. A atividade estimula pensamento crítico e interpretação” (Pi4)

“A proposta favorece diferentes estilos de aprendizagem. O benefício é que alunos visuais conseguem se destacar” (Pi10)

“O desafio seria controlar o nível de dificuldade para não frustrar os alunos ou deixar muito fácil” (Pi3)



No que se refere ao tema '**Desafios de interpretação**', os estudantes descrevem dificuldades em compreender as pistas, articular informações e distinguir o que é ou não relevante na resolução dos enigmas. Assim, à luz da Teoria da Carga Cognitiva, essas dificuldades podem ser entendidas como um desequilíbrio entre carga intrínseca, extrínseca e germânica. Sweller (2010) argumenta que a memória de trabalho é limitada e que tarefas com muitos elementos interativos tendem a sobrecarregar o processamento, sobretudo quando o design instrucional inclui elementos irrelevantes ou mal organizados, elevando a carga extrínseca. Nos dados deste estudo, códigos como 'clareza insuficiente', 'ambiguidade', 'excesso de informação' e 'dúvida entre pista e decoração' apontam precisamente para esse tipo de carga extrínseca desnecessária, pois levam o estudante a gastar recursos mentais discriminando ruído e pista, em vez de investir a memória de trabalho na compreensão dos conceitos químicos (carga germânica). Em convergência, as sugestões recorrentes de reduzir texto, tornar os enunciados mais objetivos, simplificar pistas e imagens e oferecer dicas graduais podem, assim, ser interpretadas como estratégias de redesenho coerentes com a Teoria da Carga Cognitiva, na medida em que buscam minimizar a carga extrínseca e liberar recursos para a construção de esquemas conceituais mais estáveis (REESE; PAWLUK; TAYLOR, 2016).

Em termos conceituais, as falas agrupadas em "**Desafios de interpretação**" aparecem com maior frequência nos enigmas que envolvem radioatividade e geometria (Estação QSC-2), estereoquímica de drogas e neurotransmissores (Estação QSC-3) e cálculo de massa de substâncias ilícitas (Estação QSC-4). Nesses casos, os licenciandos relatam dificuldade em identificar qual informação "realmente importava", distinguir pista de decoração e articular múltiplos dados numéricos, o que indica que conteúdos mais abstratos e simbólicos foram os que mais se aproximaram do limite da capacidade da memória de trabalho. Os exemplos de falas dos estudantes reforçam a formação do tema e seus subtemas.

"Para mim, a imagem foi essencial. Eu não teria chegado à resposta sem observar detalhes específicos que estavam escondidos no visual" (Pi2)

"Achei que a estética foi eficaz sim. As imagens conseguiram transmitir uma atmosfera que combinava com o tema científico, sem banalizar nem infantilizar o conteúdo" (Pi7)

"As imagens ajudaram, mas às vezes fiquei em dúvida sobre o que era pista e o que era apenas parte do design. Isso me atrapalhou um pouco na interpretação" (Pi13)

Por outro lado, para o tema '**Elementos de Engajamento**', vários estudantes descrevem que o 'quebra-cabeça conceitual', a necessidade de articular múltiplas pistas, a busca de detalhes visuais e a sensação de 'insight' foram justamente os aspectos mais engajantes da experiência. Esse padrão dialoga com a literatura sobre a Aprendizagem Baseada em Enigmas, que caracteriza os enigmas como tarefas que, quando bem projetadas, promovem raciocínio lógico, pensamento crítico e aprendizagem ao exigir



que o aluno manipule ativamente informações para chegar a uma solução (Fontes et al., 2014). Estudos em Química mostram que puzzles e jogos de palavras podem melhorar o desempenho em resolução de problemas, a retenção de conteúdos abstratos e a motivação, especialmente quando comparados ao ensino expositivo tradicional (CLAPSON et al., 2024).

Ainda, o tema “Elementos de engajamento” mostra, por outro lado, que a mesma estrutura de enigma que gera esforço também produz sentido e interesse conceitual. Quando descrevem a atividade como um ‘quebra-cabeça conceitual’ ou como ‘investigar algo real’, os licenciandos se referem, por exemplo, a identificar sequencialmente plástico, CO₂ e CFCs nas cenas da Estação 1, a reconstruir a lógica dos efeitos de drogas como metanfetamina e dopamina na Estação 3 ou a estimar a massa de cocaína numa apreensão na Estação 4. Esses relatos sugerem que a ABE é eficaz para promover a aplicação ativa de conceitos químicos em situações que exigem raciocínio lógico e tomada de decisão, em consonância com estudos de Puzzle-based Learning na educação em Química. As falas abaixo dos participantes reforçam esse potencial, ou seja, conectar conteúdo a situações do cotidiano e discutir estratégias em grupo, ou seja, exatamente os objetivos descritos para abordagens baseadas em enigmas.

“Gostei da forma como o enigma misturava narrativa e ciência. A história por trás da pista fez parecer que eu estava investigando algo real” (Pi6)

“O aspecto mais engajante foi tentar decifrar como cada pista se conectava ao conteúdo químico. Eu gostei da sensação de montar um quebra-cabeça conceitual” (Pi11)

“Gostei da forma com que foi introduzida as questões do dia a dia e a conexão com o conteúdo químico” (Pi18)

Na sequência, o tema ‘**Papel das Imagens**’ mostra que o aspecto visual, no contexto investigado, é central para a experiência com os enigmas, mas exige cuidado em seu desenho. Muitos licenciandos relataram que as imagens ajudaram a definir a resposta correta, tornaram o enigma mais acessível e deixaram a discussão de temas científicos menos pesada e mais convidativa, o que reforça resultados da educação em Química que apontam visualizações como apoio importante à compreensão de conceitos abstratos e ao uso de múltiplas representações (PAZ DA SILVA; ARROIO, 2022). Quando os licenciandos elogiam as imagens como “essenciais” ou “profissionais”, eles frequentemente se referem a diagramas que destacam a estrutura da amônia e de espécies radioativas (Estação 2), bem como às fórmulas de metanfetamina e dopamina (Estação 3), que ancoram visualmente conceitos de geometria molecular e quiralidade, funcionando como suportes epistêmicos para conteúdos tradicionalmente abstratos.

Ao mesmo tempo, uma parte dos estudantes relatou dificuldades com excesso de detalhes, ambiguidade entre pista e decoração e casos em que a imagem ‘atrapalhou mais do que ajudou’, evidenciando que visualizações mal alinhadas ao texto podem aumentar a carga cognitiva extrínseca. As críticas à presença de ‘informação visual demais’ ou à dificuldade de distinguir pista e decoração surgem



sobretudo nos enigmas de maior densidade conceitual, como o de radioatividade na Estação 2 e o de massa de droga na Estação 4, sugerindo que, quando o visual não está claramente articulado ao conceito, a imagem passa a competir com o conteúdo. Em termos de aprendizagem multimídia, isso indica que imagens e textos precisam atuar de forma complementar: as primeiras como âncoras visuais que favorecem a evocação de memórias e a compreensão de conteúdos complexos, e os segundos oferecendo contexto e detalhamento sem redundâncias desnecessárias (RAMOS; LORENZET; SOUZA, 2020; MAYER, 2009). Alguns exemplos de excertos são apresentados abaixo.

“Para mim, a imagem foi essencial. Eu não teria chegado à resposta sem observar detalhes específicos que estavam escondidos no visual” (Pi5)

“A estética dos enigmas me chamou atenção porque parecia profissional. Isso me deixou mais envolvido(a), como se eu estivesse resolvendo algo realmente importante” (Pi9)

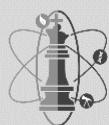
“As imagens ajudaram, mas às vezes fiquei em dúvida sobre o que era pista e o que era apenas parte do design. Isso me atrapalhou um pouco na interpretação” (Pi15)



O quinto tema, **‘Aspectos Emocionais’** apareceu porque analisamos como os enigmas supostamente impactaram sentimentos e estados afetivos dos licenciandos. Nesse contexto, embora a maior parte dos relatos destaque o engajamento positivo com os enigmas, emergiram também emoções como ansiedade, insegurança e frustração, especialmente associadas à gestão do tempo e à pressão para encontrar rapidamente a resposta correta. Alguns estudantes mencionaram dificuldade em administrar o tempo de resolução dos enigmas nas estações ou em controlar a ansiedade de resolver rápido, o que, certamente, os levaram a pular etapas do raciocínio, enquanto outros apontaram o desafio de alinhar diferentes ideias dentro do grupo. Esses achados sugerem que, além de desafios cognitivos, a atividade mobiliza uma dimensão afetiva importante, reforçando a necessidade de um planejamento que inclua tempo adequado, explicitação das expectativas e apoio ao trabalho colaborativo para que emoções negativas não se sobreponham ao potencial formativo dos enigmas. Entretanto, a literatura revela que atividades que promovem a resolução de problemas podem gerar emoções como curiosidade, interesse, confusão, frustração e ansiedade são comuns e influenciam diretamente o engajamento, a motivação e o desempenho dos alunos (LIVERANI et al., 2023). Alguns excertos exemplificam o tema, conforme disposto abaixo.

“A parte mais desafiadora foi administrar o tempo. Eu sabia o que fazer, mas ficava inseguro(a) e isso me atrapalhou a avançar” (Pi14)

“O maior desafio foi colaborar com o grupo. A gente tinha ideias diferentes e demoramos a alinhar o raciocínio para encontrar a resposta” (Pi7)



“Para mim, o mais difícil foi controlar a ansiedade de resolver rápido. Isso me fez pular etapas do raciocínio e eu tive que voltar várias vezes” (Pi16)



Por fim, o tema **‘Sugestões de Aprimoramento’** emergiu da análise temática indutiva e traz contribuições dos licenciandos convergem para um conjunto claro de ajustes desejáveis no design dos enigmas. A dimensão mais recorrente diz respeito à clareza textual, indicando que enunciados longos e pouco focados aumentam o esforço de interpretação sem agregar valor conceitual. Em paralelo, várias sugestões apontam para o refinamento do design visual, como, por exemplo, reduzir os detalhes da imagem, simplificar a estética, para que o foco ficasse mais no conceito químico, entre outros, o que reforça a necessidade de imagens funcionalmente alinhadas ao conteúdo, e não decorativas ou sobrecarregadas. Há ainda propostas ligadas à estrutura das pistas e do desafio, por exemplo, adicionar uma dica opcional para evitar que o grupo ficasse travado, colocar mais perguntas em alguns enigmas e explicar um pouco melhor o desafio químico. Por outro lado, um subconjunto de participantes afirmou que não mudaria nada, revelando um núcleo de satisfação total que, ao mesmo tempo em que legitima o potencial da abordagem ABE, destaca que as melhorias sugeridas visam refinamento, e não rejeição da atividade.

Notavelmente, muitas sugestões de melhoria são diretamente ligadas a conceitos específicos, tais como, pedidos de explicar melhor o desafio químico e adicionar uma dica opcional aparecem em comentários sobre o enigma de radioatividade; demandas de ‘clarear a simbologia’ e ‘reduzir detalhes da imagem’ se referem aos esquemas estereoquímicos da Estação 3; já as propostas de deixar o texto mais objetivo e diminuir a ambiguidade citam explicitamente o enigma de massa de cocaína. Isso reforça que os licenciandos não estão apenas avaliando a ferramenta em abstrato, mas identificando precisamente em quais conteúdos o design atual favorece ou dificulta a aprendizagem.

No entanto, de modo similar ao estudo de Clapson et al. (2024), percebemos que é fundamental conectar o propósito da ABE com objetivos de aprendizagem específicos, pois isto exige que o educador defina o conhecimento essencial para resolver os enigmas, tanto o conhecimento prévio quanto as informações a serem fornecidas durante a atividade. Em suma, o tema **‘Sugestões de Aprimoramento’** foi corroborado com o item do questionário que visava levantar o grau de satisfação dos estudantes sobre a atividade lúdica usando os enigmas. O resultado deste item pontou que a média de satisfação dos alunos da licenciatura em química ($n=19$) foi de 9,25, o que denota, portanto, um elevado grau de satisfação com a referida atividade. Abaixo há alguns exemplos de falas dos participantes da pesquisa que estão atrelados ao referido tema.

“Eu deixaria o texto mais objetivo, porque algumas partes me confundiram.”



"Eu não mudaria nada porque achei muito legal e inovador."

Em síntese, a análise integrada da escala Likert, das falas temáticas e das respostas por estação mostra que a Aprendizagem Baseada em Enigmas é particularmente eficaz para trabalhar conteúdos de identificação e contextualização de substâncias (plásticos, gases do efeito estufa, CFCs, amônia, lítio, metanfetamina, dopamina, cocaína) em diálogo com questões sociocientíficas, enquanto conteúdos com alta interatividade de elementos, como radioatividade, geometria molecular, estereoquímica e cálculos de massa, exigem maior controle da carga cognitiva e apoios pedagógicos mais graduais, como divisão dos desafios em etapas e oferta de pistas progressivas. Dessa forma, não apenas se confirma o potencial da ABE como Atividade Inovadora em Química, mas também se delineiam os conceitos e tipos de enigma em que ela se mostra mais e menos eficiente em termos conceituais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa indicam que a Aprendizagem Baseada em Enigmas configura uma estratégia promissora para o ensino de Química em cursos de formação inicial, articulando Didatização Lúdica, Teoria da Carga Cognitiva e Questões Sociocientíficas. Assim, a análise integrada da escala Likert, das falas temáticas e das respostas por estação mostra que os enigmas foram particularmente eficazes para trabalhar conteúdos de identificação e contextualização de substâncias (como plásticos, gases do efeito estufa, CFCs, amônia, lítio, metanfetamina, dopamina e cocaína) em diálogo com problemas sociocientíficos, favorecendo o engajamento, a curiosidade e a construção de sentido para conceitos tradicionalmente abstratos.

Por outro lado, os dados revelam que conteúdos com alta interatividade de elementos, tais como radioatividade, geometria molecular, estereoquímica e cálculos de massa, tenderam a gerar maior esforço mental e percepção de sobrecarga quando combinados a textos extensos e imagens muito densas. Nesses casos, o potencial formativo da ABE depende de ajustes no design dos enigmas, com redução de informações irrelevantes, uso mais criterioso de recursos visuais e introdução de apoios pedagógicos graduais (divisão em etapas, pistas progressivas, retomada de conceitos-chave) para manter a carga cognitiva em níveis produtivos. Assim, o estudo não apenas confirma o potencial da ABE como Atividade Inovadora em Química, mas também delineou, diante do contexto investigado a partir dos enigmas elaborados e utilizados neste estudo, em quais tipos de conceitos e configurações de tarefa ela se mostrou mais e menos eficiente em termos conceituais.

Em termos de limites, se reconhece que o universo amostral é reduzido (19 licenciandos de uma única instituição), que os dados se baseiam predominantemente em autorrelatos e em uma intervenção



pontual, e que não houve grupos de comparação com outras metodologias. Tais fatores restringem a generalização dos achados e impedem afirmar, de forma conclusiva, o impacto da ABE sobre o desempenho conceitual em longo prazo. Desse modo, pesquisas futuras podem ampliar a amostra, incluir turmas da educação básica, empregar delineamentos quase-experimentais e incorporar medidas objetivas de aprendizagem e de carga mental, explorando diferentes níveis de complexidade dos enigmas e formas de apoio pedagógico.

Referências

- ADZAPE, J. N.; OTOR, E. E.; AKPOGHOL, T. V. Effects of chemistry-based puzzles on senior secondary school chemistry students' interest in chemical periodicity. **Education and Linguistics Research**, v. 6, n. 2, p. 88-100, 2020.
- AJAYI, V. O.; OGBEBA, J. Possibility of improving students' engagement and academic performance in chemistry using three-dimensional puzzle-based instructional strategy: a field report. **Kogi Journal of Education and Pedagogy (KJOEAP)**, v. 1, n. 1, p. 142–152, 2021.
- ALMEIDA, A. S.; SANTOS, A. F. Novas perspectivas metodológicas para o ensino de Química: prática e teoria contextualizada com o cotidiano. **Diversitas Journal**, v. 3, n. 1, p. 144–156, 2018.
- ALOTAIBI, M. S. Game-based learning in early childhood education: a systematic review and meta-analysis. **Frontiers in Psychology**, v. 15, p. 1–11, 2024.
- ANDERSEN, E. A leitura de emoções no livro infantil ilustrado: palavras e imagens. **Prolíngua**, v. 14, n. 2, p. 16–27, 2020.
- BADGER, M.; SANGWIN, C. J.; VENTURA-MEDINA, E.; THOMAS, C. R. **A guide to puzzle-based learning in STEM subjects**. Birmingham: University of Birmingham, 2012.
- BRAUN, V.; CLARKE, V. Thematic analysis. In: COOPER, H. et al. (org.). **APA handbook of research methods in psychology: volume 2 – research designs**: quantitative, qualitative, neuropsychological, and biological. Washington, DC: American Psychological Association, p. 57–71, 2012.
- BROOKFIELD, S. D. **Teaching for critical thinking: tools and techniques to help students question their assumptions**. California, ABD: Jossey-Bass, 2012.
- BUTLER, Z. et al. Pencil puzzles for introductory computer science. In: **Proceedings of the 2017 ACM SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education**, p. 93–98, 2017.
- CARMONA-HALTY, M.; SALANOVA, M.; LLORENS, S.; SCHAUFELI, W. B. Linking positive emotions and academic performance: the mediated role of academic psychological capital and academic engagement. **Current Psychology**, v. 40, p. 2938–2947, 2021.
- CLAPSON, M. L.; SCHECHTEL, S.; DAVY, E.; DURFY, C. S. Solving the chemistry puzzle—A review on the application of escape-room-style puzzles in undergraduate chemistry teaching. **Education Sciences**, v. 14, n. 12, p. 1–44, 2024.
- CLARK, C.; KIMMONS, R. Cognitive load theory. **EdTechnica**, p. 109–113, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.59668/371.12980>. Acesso em: 18 dez. 2025.
- CLEOPHAS, M. G.; CUNHA, M. B. Contribuições da fotografia científica observatória (FoCO) para o ensino por investigação. **R. bras. Ens. Ci. Tecnol.**, v. 13, n. 1, p. 349-381, 2020.
- CLEOPHAS, M. G.; SOARES, M. H. F. B. S. (Orgs.). **Didatização lúdica no ensino de química/ciências**. Prefácio. São Paulo: Livraria da Física, 2018.





CLORES, L. J.; NUEVA ESPAÑA, R. C. Assessment of teachers' instructional practices: towards proposing an innovative instructional model for teaching-learning material in chemistry. **Journal of Practical Studies in Education**, v. 4, n. 4, p. 1–19, 2023.

FALCADE, A. et al. Teoria da carga cognitiva: aproximação de ideias e conceitos. **Intelligenza Artificiale**, v. 45, p. 795–810, 2021.

FALKNER, N.; SOORIAMURTHI, R.; MICHALEWICZ, Z. Puzzle-based learning for engineering and computer science. **IEEE Computer**, v. 43, n. 4, p. 20–28, 2010.

FALKNER, N.; SOORIAMURTHI, R.; MICHALEWICZ, Z. Teaching puzzle-based learning: development of basic concepts. **Teaching Mathematics and Computer Science**, v. 10, n. 1, p. 183–204, 2012.

FONTES, M. M. et al. Viewing puzzles as two-faced: theoretical and practical implications for puzzle-based learning. **Thinking Skills and Creativity**, v. 52, 101470, 2024.

GHANBARI, S.; HAGHANI, F.; BAREKATAIN, M.; JAMALI, A. A systematized review of cognitive load theory in health sciences education and a perspective from cognitive neuroscience. **Journal of Education and Health Promotion**, v. 9, p. 1–13, 2020.

GUY, R. F.; NORVELL, M. The neutral point on a Likert scale. **The Journal of Psychology: Interdisciplinary and Applied**, v. 95, n. 2, p. 199–204, 1977.

HADLEY, J.; SINGMASTER, D. Problems to sharpen the young. **The Mathematical Gazette**, v. 76, n. 475, p. 102–126, 1992.

HAWTHORNE, B. S.; VELLA-BRODRICK, D. A.; HATTIE, J. Well-being as a cognitive load reducing agent: a review of the literature. **Frontiers in Education**, v. 4, 121, 2019.

HU, Y.; GALLAGHER, T.; WOUTERS, P.; VAN DER SCHAAF, M.; KESTER, L. Game-based learning has good chemistry with chemistry education: a three-level meta-analysis. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 59, n. 9, p. 1499–1543, 2022.

IDIKA, M. I. et al. The impact of puzzle game and video-based puzzle strategies on students' achievement and retention in periodicity. **Journal of Mathematics and Science Teacher**, v. 4, n. 2, p. 1–7, 2024.

JOHNSON, P. G. The goals of science education. **Theory and Practice**, v. 1, p. 239–244, 1962.

JOHNSTONE, A. H. Macro- and microchemistry. **School Science Review**, v. 64, n. 227, p. 377–379, 1982.

JONG, T. et al. Cognitive load theory, educational research, and instructional design: some food for thought. **Instructional Science**, v. 38, p. 105–134, 2010.

KIRSCHNER, P. A.; SWELLER, J.; KIRSCHNER, F. et al. From cognitive load theory to collaborative cognitive load theory. **International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning**, v. 13, p. 213–233, 2018.

KRIEGLSTEIN, F. et al. Development and validation of a theory-based questionnaire to measure different types of cognitive load. **Educational Psychology Review**, v. 35, p. 1–37, 2023.

KURNIAWATI, L. Enhancing students' mathematical intuitive-reflective thinking ability through problem-based learning with hypnoteaching method. **Journal of Education and Practice IISTE**, Jakarta, 2014.

LOCHMILLER, C. R. Conducting thematic analysis with qualitative data. **The Qualitative Report**, v. 26, n. 6, p. 2029–2044, 2021.

MASCENO, D. M.; MONTEIRO, M. A.; BASTOS FILHO, J. B. O imagético-verbal como expediente pedagógico para as abordagens dos legados de Graziela Barroso e Maria Merian. **Ensino & Multidisciplinaridade**, v. 9, n. 2, p. 1–16, 2024.

MEYER, E. F. et al. **Guide to teaching puzzle-based learning**. London: Springer, 2014.



MOREIRA, M. A. Interesse, experiência, autoeficácia, autorregulação e carga cognitiva: implicações para a aprendizagem significativa da física. **Revista do Professor de Física**, v. 5, n. 2, p. 1-10, 2021.

NINOMIYA, Y.; IWATA, T.; TERAI, H.; MIWA, K. Effect of cognitive load and working memory capacity on the efficiency of discovering better alternatives: a survival analysis. **Memory & Cognition**, v. 52, n. 1, p. 115-131, 2024.

PAAS, F. et al. Cognitive load theory and instructional design: recent developments. **Educational Psychologist**, v. 38, p. 1-4, 2003.

PAZ DA SILVA, A. J.; ARROIO, A. The role of time in the use of visualization in chemical education: pre-service teacher practices. **Journal of Turkish Science Education**, v. 19, n. 3, p. 786-807, 2022.

PIRES, D. F.; SILVA, J. R. F.; BARBOSA, M. L. O. Rotação por estações no ensino de embriologia: uma proposta combinando modelos tridimensionais e o ensino híbrido. **Revista de Estudos e Experiências em Educação**, v. 20, n. 43, p. 415-436, 2021.

PORTELA, T. C. L.; OLIVEIRA, M. C. A. Avaliação de objetos de aprendizagem (OA) sobre evolução biológica (EB) a partir da Teoria da Carga Cognitiva (TCC). **Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio**, v. 13, n. 2, p. 400-425, 2020.

RAMOS, F.; LORENZET, F.; SOUZA, R. O gato e a árvore: cuidados na formação do leitor de imagens. **Revista Graphos**, v. 22, n. 2, p. 164-181, 2020.

REESE, D. D.; PAWLUK, D. T. V.; TAYLOR, C. R. Engaging learners through rational design of multisensory effects. In: TETTEGAH, S. Y.; NOBLE, S. U. (org.). **Emotions and technology**. In: **Emotions, Technology, and Design**. San Diego: Academic Press, cap. 6, p. 103-127, 2016.

SANCHEZ, E. et al. Teaching and learning with escape games: from debriefing to institutionalization of knowledge. In: Fonseca, D.; Redondo, E. (org.). **Methodologies and Intelligent Systems for Techhnology Enhanced Learning**. Cham: Springer, 2018. p. 242-253.

SCHNAUBERT, L.; SCHNEIDER, S. Analysing the relationship between mental load or mental effort and metacomprehension under different conditions of multimedia design. **Frontiers in Education**, v. 6, p. 1-19, 2022.

SINCLAIR, S.; ROCKWELL, G. Review of Voyant Tools: see through your text. **Language Learning & Technology**, v. 25, n. 3, p. 43-50, 2021.

SIRHAN, G. Learning difficulties in chemistry: an overview. **Journal of Turkish Science Education**, v. 4, n. 2, p. 2-20, 2007.

SKULMOWSKI, A. et al. Understanding cognitive load in digital and online learning: a new perspective on extraneous cognitive load. **Educational Psychology Review**, v. 34, p. 171-196, 2021.

SPENCER, J. **Project-based learning and cognitive load theory**. Disponível em: <https://spencereducation.com/pbl-cognitive-load/>. Acesso em: 17 dez. 2025.

STOJANOVSKA, M. et al. Celebrating the International Year of Periodic Table with chemistry educational games and puzzles. **Chemistry Teacher International**, v. 3, 2020.

SURBAKTI, R. et al. Cognitive load theory: implications for instructional design in digital classrooms. **International Journal of Educational Narratives**, v. 2, n. 6, p. 483-493, 2024.

SWELLER, J. Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. **Educational Psychology Review**, v. 22, p. 123-138, 2010.

SWELLER, J.; AYRES, P.; KALYUGA, S. **Cognitive load theory**. v. 1. New York: Springer, 2011.

TARASEK, K.; ADAMSKA, M.; DULEBA, K.; SYNOWIEC, K.; MACIEJOWSKA, I. Solving chemical puzzles: detective mystery as a context for team-based learning and knowledge inquiry. **Gamtamokslinis Ugdymas / Natural Science Education**, v. 21, n. 2, p. 120-137, 2024.

THIELE, J. A.; FASKOWITZ, J.; SPORNS, O.; HILGER, K. Multitask brain network reconfiguration is inversely associated with human intelligence. **Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)**, v. 32, n. 19, p. 4172-4182, 2022.



VAN MERRIËNBOER, J. J. G. et al. Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. **Medical Education**, v. 44, p. 85–93 2010.

WANG, C.-C.; CHENG, P. K.-H.; WANG, T.-H. Measurement of extraneous and germane cognitive load in the mathematics addition task: an event-related potential study. **Brain Sciences**, v. 12, n. 8, p. 1–16, 2022.

WESTBROEK, H.; JANSSEN, F.; DOYLE, W. Perfectly reasonable in a practical world: understanding chemistry teacher responses to a change proposal. **Research in Science Education**, v. 47, p. 1403–1423, 2017.

WILBY, K. J.; PARAVATTIL, B. Cognitive load theory: implications for assessment in pharmacy education. **Research in Social & Administrative Pharmacy**, v. 17, n. 9, p. 1645–1649, 2021.

YOUNG, J. Q. et al. Cognitive load theory: implications for medical education: AMEE Guide No. 86. **Medical Teacher**, v. 36, p. 371–384, 2014.

YURIEV, E. et al. Crossword puzzles for chemistry education: learning goals beyond vocabulary. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 17, p. 532–554, 2016.



☞ Link para acesso aos Enigmas utilizados na intervenção pedagógica:

<<https://drive.google.com/drive/folders/1NjUA-B9uORKgCw6IzBkwbUnGhWOSFcby?usp=sharing>>



Resumen: Este artículo analiza el Aprendizaje Basado en Rompecabezas (ABP) como una Actividad Innovadora en Química, articulando la Didáctica Lúdica, la Teoría de la Carga Cognitiva y Cuestiones Sociocientíficas. En una intervención con 19 estudiantes de química, organizados por turnos, se utilizaron ocho rompecabezas digitales, evaluados mediante una escala Likert y preguntas abiertas, sometidas a análisis temático. Los resultados indican un predominio del acuerdo (75,4%) en cuanto a la claridad, la utilidad de las imágenes, la conexión con el QSC y el trabajo colaborativo, con una alta satisfacción general (promedio de 9,25). Además, el análisis cualitativo reveló seis temas: Percepción Pedagógica, Rol de las Imágenes, Elementos de Compromiso, Desafíos de Interpretación, Aspectos Emocionales y Sugerencias de Mejora. Finalmente, concluimos que el ABP favorece el compromiso, el pensamiento crítico y la construcción de significado de los conceptos químicos, siempre que el diseño de los rompecabezas controle la carga cognitiva y se mejore continuamente con base en la retroalimentación de los estudiantes.

Palabras clave: Rompecabezas, aprendizaje basado en rompecabezas, enseñanza de química, carga cognitiva; didáctica lúdica.