

‘EscaPolvo’: Análise da Carga Cognitiva e Autoeficácia em um Jogo Educativo Formalizado sobre Mudanças Climáticas

‘EscaPolvo’: Analysis of Cognitive Load and Self-Efficacy in a Formalized Educational Game on Climate Change

Maria das Graças Cleophas^{a,*} 

^a Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza (ILACVN), CEP 85870-650, Foz do Iguaçu-PR, Brasil

*E-mail: maria.porto@unila.edu.br

Submissão: 18 de Julho de 2025 – Aceite: 24 de Março de 2026 – Publicado online: 16 de Abril de 2026

This study explores the effects of the educational escape room game ‘EscaPolvo’ on the self perception of learning among Chemical Engineering students, focusing on the theme of climate change through the perspective of Cognitive Load Theory. Anchored in the framework of Ludic Didacticization, the research used a combination of quantitative and qualitative approaches to examine how students perceived the initial cognitive challenge, the instructional design of the game, the role of collaboration as a learning support, and the experience as a source of self efficacy. The results show that ‘EscaPolvo’ helped regulate cognitive demands by reducing unnecessary cognitive load and making more efficient use of working memory. Collaborative group work served as a strategy for distributing mental effort and reinforcing collective confidence. In addition, most students, even those with no previous exposure to this type of activity, expressed strong engagement, positive perceptions of learning, and enthusiasm for future experiences of a similar nature. The thoughtful integration of conceptual complexity with an immersive narrative in the game design proved to be an effective way to create meaningful educational experiences that are cognitively sustainable, especially when dealing with intricate scientific issues such as climate change.

Keywords: Escape room games; playful didactics; cognitive load; self-efficacy; chemistry teaching; climate change.

1. Introdução

A química é a ciência central, o que a torna uma disciplina fundamental para formar pessoas cientificamente letradas para compreender a ciência à sua volta. Isto inclui, entre tantas outras demandas, a necessidade de promover uma formação de professores com competências específicas para ajudar os alunos a aprender habilidades do século XXI, tais como flexibilidade cognitiva, habilidades complexas de comunicação e a capacidade de resolver problemas não rotineiros. No entanto, historicamente, o ensino de Química enfrenta o desafio constante de transcender a memorização de conceitos abstratos. Para tanto, um caminho promissor é conectar seus princípios a fenômenos do mundo real. Porém, a compreensão da intersecção da química se torna ainda mais acentuada ao abordar temas sociocientíficos complexos e interdisciplinares, como as mudanças climáticas, que demandam não apenas conhecimento técnico, mas também pensamento crítico, resolução de problemas e uma compreensão sistêmica.

Em resposta a essas demandas, e em consonância com os princípios da Educação para o Desenvolvimento Sustentável

(EDS), educadores têm buscado diversificar suas práticas por meio de abordagens pedagógicas alternativas. Nesse contexto, a proposta central consiste em adotar métodos de ensino inovadores que favoreçam a construção de ambientes de aprendizagem cientificamente fundamentados, capazes de promover a transferibilidade do conhecimento escolar para contextos concretos e socialmente relevantes. Logo, como alternativa potencial, a Didatização Lúdica¹ é um caminho frutífero para amalgamar a química com a EDS, pois ela, ao incorporar a ludicidade ao campo pedagógico, visa estabelecer uma aproximação eficaz e prazerosa entre aluno e conhecimento que se enlace por meio de diferentes estratégias pedagógicas que possam ser utilizadas no processo de ensino e aprendizagem de Química.

A Didatização Lúdica¹ ainda pode ser compreendida como uma perspectiva teórica ampla que investiga diferentes formas de integrar o lúdico às práticas educativas. Sob essa ótica, jogos, atividades lúdicas e outras estratégias pedagógicas deixam de ser apenas elementos motivacionais e passam a constituir meios intencionalmente planejados para favorecer a aprendizagem. No entanto, devido ao seu caráter multifacetado, essa abordagem tem potencial para mobilizar

os estudantes em diferentes dimensões do processo educativo, envolvendo aspectos afetivos, cognitivos, comportamentais e sociais ao longo da experiência de aprendizagem. Nesse contexto mais amplo de valorização do lúdico na educação, diversas estratégias pedagógicas vêm sendo exploradas por professores e pesquisadores com o objetivo de criar ambientes de aprendizagem mais dinâmicos e efetivos. Entre essas estratégias, uma proposta que tem ganhado crescente destaque na literatura educacional é a utilização de jogos de fuga em contextos educativos. Vale destacar que, no presente artigo, adotamos o termo jogo de *escape room* para designar atividades pedagógicas estruturadas a partir de desafios sequenciais e da resolução de enigmas inseridos em um contexto narrativo. Entretanto, há outros termos encontrados na literatura, tais como: jogos de *escape*, sala de *escape* educacional, jogo de fuga, jogo de fuga educacional, sala de fuga, ou *escape game*, que podem ser utilizados apenas como equivalentes conceituais, ou seja, são intercambiáveis.

Devido à sua natureza imersiva e colaborativa dos jogos de *escape room*, isto contribui para 'repaginar' a sala de aula em um ambiente dinâmico, no qual os estudantes se tornam protagonistas de seu próprio aprendizado ao enfrentarem enigmas contextualizados. Nessa linha, Bilbao *et al.*² defendem que sua integração às aulas promove o aprimoramento dos processos cognitivos, de aspectos emocionais e sociais. Além disso, a utilização de jogos educacionais deste tipo, possibilita uma abordagem de caráter interdisciplinar, pois busca criar contextos que simulam situações reais, com a intenção de enriquecer a vivência dos estudantes durante o processo de aprendizagem,³ facilitando, por exemplo, a implementação de atividades que dialoguem com a Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) ao discutir os inúmeros problemas químicos que podem ser explorados em função dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em prol do cumprimento da Agenda 2030.

Contudo, para que os jogos de *escape room* se consolidem como uma estratégia pedagógica robusta, é preciso ir além da constatação de que são 'divertidos' ou 'motivadores'. Para tanto, se torna fundamental investigar os mecanismos cognitivos e afetivos que operam durante a experiência de jogo e que influenciam à aprendizagem dos alunos. De fato, a literatura revela que as emoções autopercebidas e a carga cognitiva são preditores significativos da aceitação dos alunos em relação aos componentes da aprendizagem.^{4,5} Com isso, visando explorar essas questões, este estudo se apoia no pilar teórico da Teoria da Carga Cognitiva (TCC),⁶ já que ela postula que a aprendizagem é otimizada quando o *design* instrucional é gerenciável à carga mental imposta do conteúdo ao estudante, minimizando informações

estranhas ou pouco úteis para liberar recursos cognitivos para a efetiva construção do conhecimento. Nesse intento, vamos investigar como o *design* do jogo pode atuar como um suporte cognitivo a partir da autoeficácia percebida e coletiva sobre o jogo de *escape room* 'EscaPolvo' e se ele pôde ter atuado como uma estratégia de ensino que favorece a promoção de aprendizado sobre o contexto apresentado no jogo, contribuindo, desse modo, para que os alunos armazenassem informações sobre a química das mudanças climáticas em suas memórias de trabalho.

Embora haja evidências consistentes sobre o potencial motivacional dos jogos de *escape* na educação,^{7,8} poucos estudos examinam sistematicamente os seus efeitos sobre a carga cognitiva e a construção da autoeficácia em contextos de alta complexidade conceitual, como a Química. Além disso, a maioria das investigações existentes se concentra em percepções gerais de engajamento ou satisfação, negligenciando os processos cognitivos e afetivos subjacentes à aprendizagem. Esta lacuna é especialmente relevante se considerarmos que o sucesso na resolução dos enigmas pode atuar como um fator de reforço da autoeficácia dos estudantes, influenciando diretamente seu desempenho e persistência em tarefas desafiadoras. Com isso, ao abordar essas dimensões, o presente estudo busca contribuir para um entendimento mais robusto sobre o papel dos jogos de *escape room* como estratégia didática no ensino superior. Ademais, vale destacar que, no cenário brasileiro, não encontramos, até o momento, estudos que analisassem como o *design* desses jogos impacta a memória de trabalho de estudantes de áreas altamente demandantes, como a Engenharia Química, por exemplo.

Diante dessas lacunas, a questão de investigação que orienta este estudo é: de que maneira o *design* do jogo de fuga educacional 'EscaPolvo' modula a carga cognitiva ao influenciar a autopercepção de aprendizagem de estudantes sobre a química no contexto das mudanças climáticas? No que se refere aos objetivos, eles são triplos. O primeiro é implícito e visa dar continuidade à incorporação do uso dos jogos de *escape room* na Química como estratégia lúdico-didática no campo da Didatização Lúdica¹, ampliando, assim, o leque de possibilidades do uso da ludicidade com viés científico na sala de aula ao produzir materiais eficazes que possam ser empregados no ensino e na aprendizagem. O segundo consiste em analisar, de um ponto de vista quantitativo e qualitativo, a autopercepção dos alunos de Engenharia Química sobre o potencial do jogo de *escape room* 'EscaPolvo' como estratégia de aprendizagem. Por fim, o terceiro está relacionado à integração da pesquisa empírica sobre a influência do *design* do jogo na carga cognitiva dos alunos.

1.1. Breves apontamentos sobre a popularidade dos jogos de fuga (escape games) na educação química

Os jogos de fuga têm se consolidado como uma estratégia de ensino inovadora e envolvente no campo educacional, ao extrapolar suas origens voltadas ao entretenimento. Inicialmente concebidos para proporcionar aos participantes uma experiência imersiva de resolução de enigmas em contextos temáticos e com tempo limitado, esses jogos passaram a ser reconhecidos por seu potencial de promover aprendizagens distintas e engajamento ativo por parte dos estudantes. Essa valorização crescente tem estimulado sua incorporação em ambientes escolares e universitários. Entretanto, considerando as limitações físicas das salas de aula tradicionais e as questões éticas envolvidas na prática de manter alunos trancados até a conclusão da atividade,⁹ educadores e pesquisadores têm investido na adaptação do formato original por meio de recursos analógicos e digitais, viabilizando sua aplicação de maneira segura e acessível.¹⁰

Nos últimos anos, tais adaptações têm sido implementadas em diversas áreas do conhecimento, sendo o ensino de Química um dos campos mais promissores para sua utilização pedagógica.¹¹ Embora a popularização dos jogos de *escape room* como ferramenta pedagógica seja um fenômeno internacional crescente na última década, sua introdução no cenário do ensino de Química no Brasil é um marco mais recente e específico. Logo, a publicação que, até onde se sabe, inaugurou essa linha de pesquisa na comunidade acadêmica nacional foi o artigo "*Escape Room* no Ensino de Química".¹² Publicado em um dos periódicos de maior prestígio da área, a Química Nova na Escola, este trabalho pioneiro abriu caminho para que novas investigações (como a que se apresenta neste manuscrito) pudessem ser desenvolvidas e aprofundadas.

Estes jogos, consistem, em essência, em inserir uma equipe de participantes em um ambiente (físico, digital ou híbrido) com o objetivo de buscar pistas, resolver enigmas, charadas ou desafios lógicos, a fim de desvendar um mistério ou solucionar um problema proposto.¹³ É importante realçar que há uma ampla gama de possibilidades quanto ao formato dessas experiências, pois elas podem ocorrer em espaços físicos tradicionais, em folhas A4, na forma de jogos de cartas, por meio de plataformas digitais como Google Forms ou Google Sites, em modelos híbridos (combinando materiais impressos e tecnologias móveis), ou ainda em ambientes totalmente virtuais. Contudo, independentemente do formato adotado, é essencial preservar a narrativa imersiva central que caracteriza essa proposta, ou seja, alimentar a ideia de que os participantes precisam "escapar da sala" ao superar desafios sequenciais e interdependentes. No caso do ensino de Química, isso requer transformar conceitos e conteúdos curriculares em enigmas

solucionáveis e cognitivamente relevantes, respeitando o nível de compreensão do público-alvo. Dessa forma, é garantido que a aprendizagem ocorra de maneira envolvente, contextualizada e alinhada a objetivos pedagógicos bem definidos.

Neste contexto, numa sala de escape educacional, os alunos são imersos em um cenário que exige a mobilização de conhecimentos e habilidades para resolver quebra-cabeças específicos de um conteúdo ou tema. Efetivamente, o objetivo de um jogo de *escape room* consiste em solucionar os enigmas propostos e desvendar os mistérios apresentados ao longo da atividade, com a finalidade de alcançar a "escapada" final. Na química, os jogos de fuga podem facilitar o seu caráter abstrato, contribuindo, dessa maneira, na compreensão dos conceitos químicos pelos estudantes ao longo do processo de aprendizagem ao explorarem, a partir de enigmas e pistas, os níveis representacionais da química, ou seja, o macroscópico, o submicroscópico e o simbólico¹⁴ e a dimensão humana desses níveis.¹⁵

Com isso, os quebra-cabeças são projetados para reforçar os objetivos de aprendizagem em função desses níveis e incentivar o pensamento crítico, a colaboração e a resolução de problemas. Assim, quando utilizados no ensino de química, esses quebra-cabeças podem envolver uma ampla gama de temas e conteúdos da química, proporcionando aos alunos uma abordagem prática para a aprendizagem de conceitos complexos.¹⁶ Além disso, ao optarem pela inserção de jogos de fuga em sala de aula, os professores demonstram a intenção de adotar abordagens pedagógicas que engajem os estudantes por meio de métodos variados, promovendo a aprendizagem em contextos dinâmicos e diversificados.¹⁷

Assim, divergentemente dos métodos tradicionais de ensino, que dependem fortemente de aulas expositivas e do aprendizado baseado em resolução de listas de exercícios contendo problemas químicos, os jogos de *escape room* repaginam a sala de aula durante a sua aplicação num ambiente dinâmico e interativo porque incentivam os alunos a se envolverem ativamente com a resolução desses problemas, melhorando, desta forma, sua compreensão e retenção sobre os conceitos envolvidos.^{12,18-20} Segundo Gargiulo *et al.*,²¹ este formato interativo possibilita uma comunicação mais eficaz ao tornar a experiência perdurável e vivencial, alcançando assim, não apenas a dimensão cognitiva, mas também aspectos emocionais envolvidos na aprendizagem, superando algumas limitações dos métodos tradicionais centrados em exposições orais. Como exemplo da denotada relevância em termos de eficácia dos jogos de fuga perante a motivação dos alunos para aprender, estudos como os de Cleophas e Bedin²², Deus e Prado,²³ Rocha *et al.*,²⁴ Van Houwelingen *et al.*,²⁵ Antunes *et al.*,²⁶ entre outros, revelam efeitos positivos para a aprendizagem química devido ao clima motivacional ao jogar *escape*

rooms. Em complemento, uma pesquisa revelou que este tipo de jogo possui elementos motivacionais que também são capazes de promover o engajamento dos participantes ao evidenciar os componentes centrais da Teoria do Fluxo, considerados essenciais para a indução da experiência de *flow* durante o jogo.²⁷

Para além do que já foi discutido, Palomares, Soler e Meneu²⁸ também ampliam o leque ao ressaltarem a relevância em promover uma aprendizagem integrada entre a matemática e as ciências naturais, superando as barreiras disciplinares que tradicionalmente as separam. Em vista disso, a inserção da abordagem STEAM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics and Arts*) em jogos de escape representa, nesse sentido, uma oportunidade valiosa para articular esses saberes de forma relevante no contexto educacional. Em adesão a essa perspectiva, o estudo de Clapson *et al.*²⁹ evidencia que jogos de *escape room* aplicados ao ensino de Química têm potencial para fortalecer a compreensão dos conteúdos curriculares, promover o desenvolvimento de habilidades laboratoriais, ampliar a motivação e elevar a percepção de autoeficácia dos estudantes. Para mais, tais experiências favorecem práticas colaborativas, como o trabalho em equipe e a comunicação entre pares, aspectos cada vez mais valorizados na formação científica contemporânea. Importa destacar, ainda, que esse tipo de proposta pedagógica se alinha a uma concepção centrada no estudante, na medida em que estimula a autonomia e a responsabilidade pelo próprio processo de aprendizagem, característica especialmente valorizada por educadores que enfrentam os desafios do ensino nos dias atuais.³⁰

Neste estudo, embora o jogo de *escape room* 'EscalaPolvo' tenha constituído uma atividade experienciada de forma colaborativa entre os alunos da graduação na área da química, as nossas discussões se centrarão no duplo viés para analisar a autoeficácia percebida (individual e coletiva). Isto se fundamenta pela necessidade de compreendermos como as possíveis emoções que emanaram do jogo se relacionam ao conteúdo da química, em especial, às mudanças climáticas, inserido na elaboração dos enigmas, pistas e quebra-cabeças. Assim, as emoções positivas observadas em sala de aula, como "alegria", "satisfação" e "diversão", mas também emoções negativas, como "nervosismo", devido ao ambiente desconhecido, podem nos fornecer uma dimensão do domínio afetivo, pois ele pode impactar na relação entre memória de trabalho dos alunos e carga cognitiva. Numa outra linha, Jeong, González-Gómez e Cañada-Cañada³¹ advogam que é de crucial importância gerar emoções positivas, já que elas são úteis para que se sintam competentes e preparados para ensinar, pois depende deles gerar interesse pela ciência nas gerações futuras, por isto, é tão importante que professores insiram atividades lúdicas em suas aulas.

1.2. Teoria da Carga Cognitiva: a sobrecarga da mente na aprendizagem química

A sala de aula de Química, com suas fórmulas complexas, modelos abstratos e múltiplos níveis de representação, pode frequentemente parecer um campo minado cognitivo para os estudantes de diferentes níveis educacionais. Em decorrência disso, a dificuldade em conciliar a simbologia das equações com a visualização tridimensional de moléculas e os cálculos estequiométricos abstratos não é apenas uma questão de esforço, mas uma batalha contra os limites da nossa própria arquitetura mental.³² Além disso, Johnstone³³ alertava que o seu desafio é um tanto único entre as outras disciplinas devido aos múltiplos níveis de representação e níveis inter-relacionados de pensamento inerentes ao seu conteúdo, exigindo que o aluno considere fenômenos entre níveis macro, submicro e representacionais de representação. Nesse contexto, a Teoria da Carga Cognitiva (TCC) se apresenta como uma ferramenta analítica valiosa para repensar e aperfeiçoar as práticas de ensino, ao oferecer subsídios para otimizar a aprendizagem por meio da gestão eficiente do esforço mental demandado dos estudantes.⁶ Levando isso em conta, mais do que uma teoria descritiva, a TCC se baseia na compreensão dos mecanismos cognitivos humanos (moldados por pressões evolutivas) para propor princípios de *design* instrucional que respeitam as limitações da mente humana e, ao mesmo tempo, potencializam sua capacidade de aprender.³⁴

Nesse avançar, Kennealy e Bentley³⁵ consideram o ensino de química como um conhecimento secundário biológico, sendo, portanto, uma disciplina que impõe altas demandas de Memória de Trabalho (MT), consistindo num esforço mental despendido pela carga cognitiva.³⁶ Porém, ao investigá-la à luz da TCC que se baseia na psicologia evolucionista, Sweller,³⁷ assegura que existem muitos efeitos da TCC sobre a aprendizagem, mas todos eles têm um único objetivo que é otimizar os efeitos da carga cognitiva na MT para facilitar o acúmulo de conhecimento mantido na Memória de Longo Prazo (MLP). Nessa linha argumentativa, Cowan³⁹ elucida que a MT deve ser entendida como uma pequena quantidade de informação que pode ser mantida na mente e utilizada na execução de tarefas cognitivas, que, em contraste com a MLP, mantém uma vasta quantidade de informação armazenada ao longo da vida. Em complemento, a MT é a fonte da consciência humana, logo, qualquer indivíduo apenas terá compreensão das informações que são processadas nela,³⁷ sendo, portanto, indispensável no processo de aprendizagem. Ademais, a sua capacidade e duração desempenham um papel fundamental na eficácia desse processo,³⁹ já que podem ser transformadas em MLP.

Assim, sob tal conjuntura, quando a demanda cognitiva

de uma tarefa excede a nossa capacidade de construir a MT, a nossa aprendizagem é dificultada ou até mesmo impedida, pois não haverá transferibilidade do conhecimento adquirido neste domínio para gerar ou fortalecer a MLP. No entanto, cabe acrescentar ainda, com base no estudo de Sweller *et al.*,⁴⁰ que durante a aprendizagem, a carga cognitiva pode ser induzida por fatores atrelados à dificuldade da própria tarefa em função do seu conteúdo (complexidade do conhecimento), chamada de Carga Cognitiva Intrínseca (CCI), ou pela maneira como a informação é apresentada ou ensinada (complexidade da tarefa), sendo chamada de Carga Cognitiva Externa (CCE). Neste prisma, se torna fortemente recomendável que os professores de química compreendam a base epistemológica da TCC, pois ela ajuda a desenvolver materiais de ensino que estejam alinhados com a ciência cognitiva, visando promover abordagens instrucionais que sejam efetivas para a aprendizagem dos alunos, pois, projetar uma estratégia de ensinagem baseada na TCC é, sobretudo, minimizar a CCE para manter os recursos de memória de trabalho suficientemente não sobrecarregados para gerenciar a CCI do material a ser aprendido.³⁶

Desse modo, a TCC pode proporcionar uma aprendizagem eficaz nos níveis de retenção e transferência⁴¹ de conhecimentos químicos. Porém, para tanto, nós, professores de química, devemos ter em mente que não podemos eliminar a carga cognitiva vinculada à aprendizagem química, mas podemos propor estratégias de sequenciamento e decomposição do conteúdo que podem ajudar a gerenciá-la, apresentando conceitos complexos em partes menores e mais digeríveis.⁴² Contudo, cabe destacar que o verdadeiro obstáculo no processo de aprendizagem, segundo a TCC, é a CCE, pois se torna uma carga imposta pela maneira como a informação é apresentada, e não pelo conteúdo em si. De fato, quando as estratégias de ensino, recursos, ferramentas, etc., contendo temas da química, são mal elaborados, isto tende a acarretar um aumento dessa referida carga em detrimento da memória de trabalho. Assim, como a maioria das representações químicas é intrinsecamente complexa do ponto de vista dos alunos, a carga cognitiva pode ser neutralizada com a redução da CCE por meio de um desenho instrucional otimizado.⁴³ Denota, de maneira contundente, a importância de desenvolver materiais de ensino eficazes que possam ser incorporados às aulas de química, contribuindo, desse modo, para uma aprendizagem mais efetiva e contextualizada.

Nesse encadeamento lógico, podemos inferir que gerenciar a carga cognitiva na educação química não significa torná-la “mais fácil” ou superficial, pelo contrário, envolve criar caminhos mais claros para que os estudantes compreendam plenamente sua complexidade. Com isso, quando os professores reduzem barreiras cognitivas desnecessárias, eles permitem que os alunos utilizem seus

recursos mentais de maneira mais eficiente, favorecendo o pensamento crítico e a reflexão aprofundada sobre o conteúdo. Desse modo, os alunos têm melhores condições para interpretar resultados experimentais, formular hipóteses e compreender com naturalidade a conexão entre as representações macroscópica, submicroscópica e simbólica dos fenômenos químicos, algo que muitos estudantes frequentemente encontram dificuldade em realizar.⁴⁴

Isto posto, implementar os princípios da TCC implica alterar a abordagem predominante na sala de aula ao invés de focar exclusivamente na transmissão passiva do conteúdo, sendo essencial planejar cuidadosamente cada etapa da experiência de aprendizagem.⁴⁵ Para alcançar isso, é fundamental analisar detalhadamente as estratégias, recursos e ferramentas utilizados em aula, já que, ao adotarem essa perspectiva, os professores de química colaboram para que seus alunos não apenas enfrentem o desafio intelectual imposto pela disciplina, mas também possam crescer cognitivamente. Dessa forma, os estudantes constroem uma base sólida e permanente de conhecimentos, indo muito além da simples memorização de fatos isolados ou fórmulas desconectadas.

No contexto deste artigo, defendemos o uso do jogo de *escape room* como sendo um “jogo educativo formalizado que não foi adaptado de nenhum outro jogo, ou seja, seria um jogo contendo um elevado grau de ineditismo, visando desenvolver habilidades cognitivas sobre conteúdos específicos” (p.39),⁴⁶ para promover a diferenciação entre complexidade da tarefa e complexidade do conhecimento quando explicada pelos conceitos da CCI e da CCE. Nesse âmbito aqui exposto, a carga intrínseca correspondeu aos conhecimentos químicos que deveriam ser assimilados, ou seja, compuseram a complexidade natural do tema em si, neste caso, a química das mudanças climáticas. Já a carga externa se referiu à forma como esse conteúdo pode ser apresentado ao aluno, isto é, à complexidade da tarefa envolvida por meio da utilização do jogo de *escape room*. Outrossim, resguardamos as recomendações dadas por Chen, Paas e Sweller⁴⁷ ao ressaltarem a importância de alavancar o desenho instrucional para abordar as limitações cognitivas dos alunos, oferecendo, dessa maneira, intervenções promissoras para gerenciar as suas cargas cognitivas diante de uma sociedade em rápida evolução.

2. Mecanismos Metodológicos Adotados

2.1. Desenho da pesquisa

Este estudo é de natureza mista (quali-quantitativa), de caráter exploratório e descritivo, com abordagem do tipo intervenção pedagógica.⁴⁸ A escolha por este desenho metodológico se fundamenta na necessidade de compreender

em profundidade as autopercepções e experiências dos estudantes durante a participação no jogo *escape room* 'EscaPolvo', sendo fundamental para compreender como os elementos de *design* do jogo influenciam a carga cognitiva dos estudantes e como estes percebem sua própria aprendizagem. Vale frisar, que as intervenções pedagógicas se caracterizam por serem pesquisas aplicadas que visam contribuir para a solução de problemas práticos do campo educacional, desenvolvendo e testando estratégias, métodos ou produtos educacionais, logo, ela se adequa perfeitamente ao contexto deste estudo. Além do mais, a integração dos dados quantitativos e qualitativos permite que seja realizada a triangulação convergente, dando, assim, condições de comparar os resultados para identificar convergências, divergências e possíveis complementaridades.

2.2. Participantes e contexto

Participaram voluntariamente desta pesquisa 26 estudantes de graduação em Engenharia Química de uma universidade pública brasileira. Para eles foi garantida a total confidencialidade das informações fornecidas, o anonimato das respostas e o respeito rigoroso aos preceitos éticos vigentes, em conformidade com a Resolução n.º 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde. Em adição, para assegurar o anonimato nas respostas exemplificadas dos relatos fornecidos pelos participantes (quando utilizados), serão identificados por meio do código "DEngQ" (Discente da Engenharia Química), seguido por uma numeração sequencial (DEngQ1 a DEngQ26). Além disso, utilizamos o método de amostragem não probabilística intencional,^{49,50} cuja amostra foi selecionada intencionalmente pela pesquisadora deste estudo, ao selecionar tais participantes com características específicas relevantes para os objetivos da investigação, fundamentado a partir do convite de uma professora para que o jogo fosse aplicado em sua disciplina. Logo, a escolha por estudantes desta área se justifica pela relevância dos conceitos de química imbuídos nas mudanças climáticas para sua formação profissional, bem como pela necessidade de termos participantes com conhecimentos básicos em química que permitissem o engajamento adequado com o conteúdo do Jogo de *escape room* 'EscaPolvo'.

2.3. Instrumentos de coleta de dados

A coleta de dados seguiu uma abordagem de triangulação

metodológica ao utilizar múltiplos instrumentos de coleta de dados para obter uma compreensão abrangente e confiável do fenômeno investigado diante da composição da amostra. Para isso, utilizamos um questionário estruturado, que consistiu em um instrumento contendo 16 questões distribuídas em três categorias, sendo onze assertivas utilizando a escala Likert de 4 pontos (1 = Discordo Totalmente a 4 = Concordo Totalmente), sem ponto neutro, na tentativa de mitigar que os participantes assumissem uma posição indefinida.⁵¹ Adicionalmente, optamos por elaborar uma escala Likert pictórica para avaliar a resposta emocional dos participantes.⁵²

A este respeito, tal decisão se baseou em pesquisas que destacam a importância de gerar senso de pertencimento aos alunos,^{53,54} permitindo, assim, um ambiente propício para atribuir as respostas que estivessem em sinergia com o caráter formativo da atividade. Diante disso, visando incentivar a conexão afetiva, pertencimento e familiaridade dos participantes com a pesquisa em função dos itens da escala para capturar as atitudes e comportamentos autorrelatados durante o jogo, propomos e elaboramos uma Escala Likert Afetiva (ELA) (Figura 1), baseada em imagens para avaliar as emoções dos participantes. Em síntese, a nossa escala proposta utiliza elementos pictóricos que se entrelaçam à própria atividade, neste caso, optamos por usar um cadeado em alusão à necessidade de escapar de uma 'sala de fuga'.

Dando sequência, estes itens da ELA foram organizados para nos fornecer quatro Dimensões Teóricas Elucidativas (DTE's) em função dos objetivos da investigação, sendo, (1) o desafio cognitivo inicial e a percepção de dificuldade sobre o jogo; (2) o *design* do jogo como redutor da carga cognitiva; (3) a a colaboração como estratégia de distribuição da carga e percepção sobre a eficácia coletiva; e, por fim, (4) a experiência com o jogo e sua utilidade autopercebida para o aprendizado. Ainda, sobre a estrutura do questionário estruturado, havia três questões tricotômicas que ofereceram opções categóricas (Sim/ Não/ Talvez) para examinar aspectos relacionados à disposição para futuras experiências. E, finalmente, uma questão aberta que permitia a expressão livre sobre a experiência com o jogo. Tal questionário foi entregue imediatamente após a experiência vivenciada pelos participantes com o jogo de *escape room* 'EscaPolvo'.

Além do questionário estruturado, utilizamos também um diário de campo durante a intervenção pedagógica. Esse instrumento tem grande relevância por permitir o



Figura 1. Escala Likert Afetiva (ELA)

registro pessoal das atividades desenvolvidas, decisões importantes tomadas durante o processo e sentimentos vivenciados pelo pesquisador, se configurando como uma valiosa ferramenta reflexiva que promove o aprendizado contínuo sobre a própria prática investigativa, além de auxiliar na recuperação precisa das circunstâncias em que os eventos ocorreram.⁵⁵ Dessa forma, o diário foi empregado para registrar observações sistemáticas ao longo da aplicação do jogo, documentando detalhadamente comportamentos, interações e eventos ocorridos durante a referida intervenção pedagógica, tais como dinâmicas de colaboração entre participantes, estratégias utilizadas na resolução de problemas, manifestações explícitas de frustração ou satisfação e os padrões gerais de engajamento dos estudantes, etc. No entanto, para facilitar a transcrição e agilizar a captura das nuances observadas sobre a intervenção, foi utilizado o *WhatsApp*,^a por meio da criação de um 'grupo único contendo a própria pesquisadora'.

Finalmente, após o jogo e imediata aplicação do questionário estruturado, realizamos uma sessão de *debriefing* (uma avaliação com foco na reflexão coletiva), que foi conduzida para proporcionar aos alunos uma oportunidade estruturada para autorreflexão sobre o jogo. Recentemente, Glennie⁵⁶ realizou uma revisão ampla de literatura e concluiu que a possibilidade de os alunos explorarem e compartilharem sentimentos e emoções ao revisar a atividade com seus pares proporciona opiniões adicionais sobre como eles podem abordar tarefas de forma diferente em situações semelhantes. Esta sessão foi gravada em áudio, com auxílio do gravador do *smartphone*, com consentimento prévio dos participantes, permitindo captura detalhada das discussões. Esta etapa deve ser vista como componente essencial de experiências de aprendizagem alicerçadas pela Didatização Lúdica,¹ pois permite que os participantes processem e articulem suas experiências, corrigindo possíveis erros ou equívocos, além de incentivar a argumentação.

2.4. Análise de dados

Utilizamos a estatística descritiva, por meio de cálculos de frequências, percentuais, desvios-padrão, etc., sobre os dados dos itens fechados do questionário, com o propósito de contextualizar e apoiar os achados qualitativos. No entanto, para analisar qualitativamente os dados obtidos com a questão aberta, diário reflexivo e a sessão de *debriefing*, utilizamos a técnica de Análise Temática (AT) proposta por Braun e Clarke.⁵⁷ A AT envolve a identificação e relato de padrões em um conjunto de dados, que são então interpretados quanto ao seu significado inerente.⁵⁸ Para isso, inicialmente, procedemos à transcrição das falas registradas em áudio, permitindo o exame detalhado

do conteúdo para apoiar a discussão dos resultados. Na sequência, as respostas dos alunos à questão aberta foram examinadas ao destacar os elementos mais frequentes e convergentes que corroborassem com as quatro Dimensões Teóricas Elucidativas já mencionadas. Após essa etapa, foram eliminadas redundâncias, bem como unificados os temas que possuíam proximidade conceitual direta com as referidas dimensões.

2.5. A intervenção pedagógica

A intervenção foi realizada no segundo semestre de 2023. No início dela, a professora-pesquisadora apresentou aos estudantes de Engenharia Química a estrutura da atividade, detalhando cada uma de suas etapas: Jogo de *escape room* 'EscaPolvo' → Preenchimento do questionário para coleta das impressões sobre a experiência → Sessão de *debriefing*. Também foram fornecidas orientações essenciais para o início da atividade, como o tempo disponível para o jogo (30 minutos), a necessidade de leitura prévia do Livro de Enigmas, a realização do *download* do aplicativo que acompanharia o progresso dos grupos na resolução dos desafios, bem como instruções sobre como acessar as pistas de cada enigma. Além disso, foi solicitado que os 26 participantes formassem grupos de forma espontânea. A divisão resultou em seis grupos, com composição não uniforme: quatro grupos com quatro integrantes e dois grupos com cinco. Com o início do jogo, a professora-pesquisadora passou a registrar, em seu diário de campo, as nuances observadas durante a aplicação do jogo *escape room* 'EscaPolvo'. Ao final da experiência, os participantes responderam ao questionário e, em seguida, participaram da sessão de *debriefing*, encerrando a intervenção pedagógica que teve duração completa de 1h22min.

2.6. O Jogo de escape room 'EscaPolvo'^b e suas peculiaridades para a sala de aula

A intervenção pedagógica central desta pesquisa foi a aplicação do jogo de *escape room* 'EscaPolvo'. Ele foi concebido como uma experiência híbrida, já que o jogo integra um livro de enigmas em formato .PDF com a interatividade de um aplicativo de celular (*Escape Team*^c) (Figura 2). Dessa maneira, os estudantes precisavam ler as instruções do jogo no referido livro para iniciar a partida. E apenas um integrante do grupo precisava fazer o *download* do aplicativo em seu *smartphone*. No mesmo encadeamento, a estrutura adotada na elaboração dos quebra-cabeças utilizados no desenho do jogo foi básica, do tipo sequencial,⁵⁹ entretanto, embora cada enigma pudesse ser resolvido sem um sequenciamento previamente determinado, o *App* apenas permitia o avanço das fases após



Figura 2. Algumas das telas do App *Escape Team*. (a) Tela de início; (b) Local para inserir o código de acesso ao jogo; (c) Tela do enigma 1

o preenchimento do código de cada fase sequenciada de 1 a 5. Além disso, para facilitar a resolução de problemas, em cada fase, eram fornecidas pistas que podiam ser vistas no referido App.

Por decorrência intrínseca, por meio da sua narrativa, o jogo convida os estudantes a mergulharem em uma missão urgente, ou seja, combater as mudanças climáticas! Desse modo, a jornada dos participantes não começava com fórmulas, mas com uma narrativa imersiva. Com efeito, eles eram apresentados ao recém-eleito “Presidente Polvo”, um líder determinado a guiar seu país rumo à sustentabilidade e a estabilizar o aumento da temperatura global. Para compor sua equipe de elite, o presidente convoca os melhores e mais brilhantes cidadãos (neste caso, os próprios estudantes) para um teste de conhecimento e agilidade com duração de 30 minutos. Como podemos observar, o jogo, portanto, não era apenas uma atividade, mas uma “missão” comum propósito

claro em resolver os enigmas para se tornar um ‘tentáculo do Polvo’ em prol do meio ambiente. Para tanto, munidos do Livro de Enigmas e com o cronômetro acionado no aplicativo, os estudantes, organizados em equipes, deviam embarcar numa jornada por cinco fases temáticas, cada uma abordando um aspecto específico da química das mudanças climáticas.

Avançando nessa perspectiva, para cada fase superada, a equipe inseria o código de cinco dígitos no aplicativo, que validava a resposta e liberava o avanço para a fase seguinte. Em consonância com isso, o possível sucesso do jogo se media não apenas pela conclusão dos enigmas, mas pela jornada colaborativa e contextualizada mediante um dos temas mais urgentes de nosso tempo. A seguir, o Quadro 1 apresenta, resumidamente, as fases e temas, os desafios propostos, os conceitos químicos e as competências e habilidades requeridas.

Quadro 1. Desafios propostos, conceitos químicos e competências e habilidades atrelados a cada fase em função do seu tema

Fase e Tema	Desafio Proposto	Conceitos de Química Envolvidos	Competências e Habilidades Requeridas
1. Oceanos em Perigo	Identificar o gás oxigênio (O_2), calcular sua massa molar e obter o grupo e período do elemento (O) para formar o código.	Massa molar; Tabela periódica (grupos e períodos); Moléculas diatômicas.	Interpretação de texto contextualizado; Extração de dados da Tabela Periódica; Cálculo estequiométrico simples.
2. Impacto da Pecuária	Identificar o nitrogênio molecular (N_2) representado no ciclo do nitrogênio, calcular sua massa molar e combinar o resultado com dados adicionais do enigma para gerar o código.	Ciclo do nitrogênio; massa molar; identificação de espécies químicas na atmosfera.	Análise de diagramas biogeoquímicos; Raciocínio lógico-matemático complexo; Pensamento sistêmico (conectar informações entre fases).
3. Geleiras e Mudança de Estado	Identificar o fenômeno associado ao derretimento do gelo (fusão) e converter a palavra em código numérico.	Estados físicos da matéria; mudanças de estado físico.	Conhecimento de fenômenos físico-químicos; Decodificação de cifras; Raciocínio lógico.
4. Gases do Efeito Estufa	Identificar os gases dióxido de carbono (CO_2) e óxido nítrico (N_2O) no caça-palavras e calcular a soma de suas massas molares, combinando o resultado com a temperatura em Kelvin para gerar o código.	Nomenclatura química; gases de efeito estufa; massa molar; conversão de temperatura.	Reconhecimento de padrões; Cálculo estequiométrico; Conversão de unidades de medida.
5. Chuva Ácida	Identificar os ácidos nítrico (HNO_3) e sulfúrico (H_2SO_4) no diagrama e realizar operações com atomicidade e massa molar para formar o código final.	Nomenclatura de ácidos; óxidos; massa molar; química atmosférica.	Interpretação de representações químicas; cálculo multietapas; resolução de problemas.

Agora, se deslocando para outro aspecto do jogo, é cabível mencionar a interligação do jogo de *escape room* 'EscaPolvo' com a Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), pois é relevante e vai muito além de seu tema evidente sobre mudanças climáticas, denotando, desta maneira, que o jogo tem potencial para atuar como uma ferramenta pedagógica alinhada aos princípios da EDS por meio de sua estrutura, narrativa e os desafios propostos. Em princípio, a EDS se baseia na integração dos pilares ambiental, social e econômico. E, diante dessa vertente, o jogo de *escape room* 'EscaPolvo' aborda os três, conforme podemos verificar no Quadro 2, abaixo.

Por fim, no que se refere ao desenvolvimento de competências-chave para a EDS, ela visa desenvolver competências que capacitem os indivíduos a agir em prol de um futuro sustentável. À vista disso, o jogo *escape room* 'EscaPolvo', enquanto ferramenta pedagógica, incorporou algumas competências, conforme características apresentadas no Quadro 3.

3. Resultados e Discussão

A discussão dos resultados deste estudo está organizada em seis seções, as quais foram delineadas com o propósito de responder a três dos quatro objetivos inicialmente propostos. Em particular, buscamos analisar, sob uma perspectiva quantitativa e qualitativa, a autopercepção dos estudantes de Engenharia Química quanto ao potencial do jogo *escape room* 'EscaPolvo' como estratégia de aprendizagem. Esse objetivo está diretamente articulado à investigação empírica sobre a influência do *design* do jogo na carga cognitiva percebida pelos participantes. Para isso, a discussão será conduzida a partir das seguintes seções: (i) caracterização geral da experiência proporcionada pelo jogo 'EscaPolvo' e; em seguida, serão apresentadas as análises organizadas com base nas Dimensões Teóricas Elucidativas (DTEs), a saber: (ii) o desafio cognitivo inicial e a percepção de dificuldade sobre o jogo; (iii) o *design* do jogo como redutor da carga cognitiva; (iv) a colaboração como estratégia de distribuição da carga e

Quadro 2. Desafios propostos, conceitos químicos e competências e habilidades atrelados a cada fase em função do seu tema

Pilares	Descrição
Ambiental	Este é o pilar mais explícito. Cada fase do jogo é um mergulho em uma faceta dos problemas ambientais globais, tais como: • Impacto do aquecimento nos oceanos e na vida marinha. • Relação entre desmatamento, pecuária e emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). • Aumento do nível do mar devido ao derretimento de geleiras. • O mecanismo do efeito estufa e os principais gases envolvidos. • Formação e consequências da chuva ácida, ligada à industrialização e queima de combustíveis fósseis.
Social	Embora o foco seja ambiental, o pilar social está no cerne da narrativa. O enredo apresenta um líder político, o "Presidente Polvo", que toma posse com a missão de guiar seu país. O problema das mudanças climáticas é apresentado como um desafio coletivo que afeta a "população" e a "saúde dos seres vivos". A própria estrutura do jogo, que busca recrutar os melhores para um projeto nacional, simula a necessidade de mobilização social e capacitação de indivíduos para resolver problemas comuns.
Econômico	O jogo aponta para as atividades econômicas que impulsionam os problemas ambientais. Cita o "crescente aumento da produção da área pecuária" e o "elevado nível de industrialização" como fontes de poluição. Isso abre uma discussão fundamental da EDS sobre a necessidade de transição de um modelo econômico baseado em exploração insustentável para uma economia verde e circular.

Quadro 3. Competências-chave para a EDS estimuladas no jogo *escape room* 'EscaPolvo'

Competências-chave para a EDS	Características Observadas no Jogo <i>Escape Room</i> 'EscaPolvo'
Pensamento Crítico e Resolução de Problemas Integrados	O formato do jogo convida a um exercício de resolução de problemas. Os jogadores não recebem respostas prontas, pois eles precisam analisar textos, interpretar diagramas, buscar informações em fontes de dados (tabela periódica) e aplicar conhecimentos químicos e matemáticos para chegar a uma solução.
Pensamento Sistêmico	O jogo força os jogadores a pensar de forma conectada. O enigma da Fase 2, por exemplo, só pode ser resolvido com uma informação encontrada na Fase 3. Isso ensina na prática que os problemas ambientais não são isolados; o derretimento de geleiras (Fase 3) e as emissões da agropecuária (Fase 2) são partes de um mesmo sistema complexo: o sistema climático global.
Competência Antecipatória	A EDS incentiva a capacidade de pensar sobre o futuro e as consequências das ações presentes. O jogo faz isso explicitamente ao mencionar o cenário projetado para o ano de 2100 e ao estabelecer a meta de estabilização do aquecimento em 1,5 °C, um objetivo futuro que requer ação imediata.
Competência Estratégica e Orientada para a Ação	O jogo não deixa o jogador no papel de um observador passivo. A narrativa o convoca a ser „um tentáculo do polvo em prol do meio ambiente“. Ao participar, o jogador está simbolicamente “se candidatando” para fazer parte da solução. Essa premissa transforma o aprendizado em um chamado à ação, um pilar pedagógico da EDS.

percepção sobre a eficácia coletiva; (v) a experiência com o jogo e sua utilidade autopercebida para o aprendizado; e, por fim, (vi) uma síntese integradora dos achados à luz das DTEs, acompanhada de citações representativas dos estudantes, que conferem densidade interpretativa aos resultados e reforçam as análises construídas ao longo da discussão.

3.1. Seção (i) | Caracterização geral da experiência obtida a partir do jogo de escape room 'EscaPolvo'

Todos os 26 alunos (taxa de resposta de 100%) que participaram da pesquisa, matriculados no curso de Engenharia Química, responderam à pesquisa pós-jogo. De modo geral, a aplicação do jogo 'EscaPolvo' revelou uma experiência de aprendizagem positiva e engajadora. Embora o conteúdo de Química fosse reconhecido pela maioria como o principal desafio, curiosamente, a maioria não percebeu o jogo como uma barreira intransponível, sugerindo que o *design* da intervenção foi bem-sucedido em criar desafios acessíveis. Esse equilíbrio foi possível graças a uma estrutura de suporte bem desenhada, na qual a clareza das orientações iniciais e a utilidade das pistas funcionaram como uma rede de segurança. Além desse suporte estrutural, a dimensão social emergiu como um pilar da experiência. O trabalho em equipe foi quase unanimemente apreciado, e o baixo nível de estresse relatado indica a criação de um ambiente de aprendizagem seguro e estimulante, no qual a colaboração se tornou um mecanismo genuíno para superar os obstáculos.

Consequentemente, a experiência culminou em uma percepção generalizada de sucesso, acompanhada por um desejo explícito de repetição. Em consonância com isso, os estudantes não apenas reconheceram que o jogo contribuiu de maneira efetiva para sua aprendizagem sobre o complexo tema das mudanças climáticas, como também expressaram, de forma quase unânime, sua intenção de recomendar a atividade para outros alunos e participar novamente de propostas semelhantes. Nesse sentido, o endosso categórico à atividade se torna ainda mais expressivo quando os dados revelaram que 76,9% (n=20) dos estudantes afirmaram nunca ter participado anteriormente de uma sala de *escape*. Portanto, o fato de a maioria ser composta por estreantes nesse tipo de abordagem, e ainda assim avaliar a experiência de forma positiva, reforça a hipótese de que o *design* e a estrutura do jogo de *escape room* 'EscaPolvo' apresentaram potencial como promotores de aprendizagens, mesmo entre aqueles alunos sem familiaridade prévia com este tipo de jogo, já que ele requeria habilidades que exigiam o uso da memória de trabalho e a resolução controlada de problemas. Naturalmente, essas descobertas estão em consonância com as obtidas nos questionários dos alunos.

Essas percepções positivas foram corroboradas pelas gravações no diário de campo e na sessão de *debriefing*, pois elas registraram evidências observáveis de engajamento ativo dos estudantes durante a atividade. Os participantes interagiram com o livreto de enigmas, impresso e distribuído a cada grupo, bem como com o aplicativo digital "*Escape Team*", demonstrando foco, colaboração e persistência na resolução dos desafios propostos ao engajar os estudantes em uma aprendizagem ativa que estava ancorada numa experiência contextualizada.⁶⁰ Nessa miríade, as trocas verbais constantes entre os membros das equipes evidenciaram o envolvimento coletivo e o esforço conjunto para superar os enigmas, características alinhadas às discussões apresentadas ao longo deste estudo. Exemplos representativos dessa vivência podem ser identificados nos relatos dos próprios alunos, como veremos a seguir.

- A experiência foi muito boa... Adorei conhecer esse jogo (DEngQ4);

- Eu achei a experiência interessante e única. O que eu mais apreciei foram os quebra-cabeças... (DEngQ13);

- Foi muito legal. É legal esse tipo de aula porque a gente consegue aprender de modo diferente com os colegas (DEngQ21);

- O aspecto mais divertido foi a competição com os outros grupos. O que mais me incomodou foi a propaganda política no jogo (presidente Polvo, ninguém é bobo (DEngQ25).

Dentre as respostas qualitativas, o relato do participante DEngQ25 emerge com particular relevância, pois ilustra de forma eloquente a dualidade da experiência vivenciada no jogo. Ao ser questionado, ele afirmou: "*O aspecto mais divertido foi a competição com os outros grupos. O que mais me incomodou foi a propaganda política no jogo (presidente Polvo, ninguém é bobo)*". Este depoimento é um microcosmo dos desafios e potencialidades do *design* de jogos educacionais, encapsulando, em uma única resposta, dois fenômenos diametralmente opostos, pois, por um lado, o estudante identifica a competição entre as equipes não apenas como um detalhe, mas como o principal catalisador para o seu divertimento e engajamento, ainda que não tenha sido incentivado tal aspecto durante as instruções para execução da atividade. Tal fato corrobora com os resultados já abordados em estudos anteriores, por exemplo, Baptista e Oliveira⁶¹ observaram que os estudantes, ao participar em colaboração numa sala de *escape*, naturalmente, evocam uma competição divertida e amigável com os seus pares. Isso tende a revelar que uma mecânica de jogo bem implementada pode criar uma camada de motivação extrínseca (por meio da competição) que intensifica o foco e o prazer na tarefa.

Já sob outro aspecto presente no relato do/a discente DEngQ25, se apoia num contraponto direto, já que o/a mesmo/a participante aponta a camada narrativa (a história do “Presidente Polvo”) como uma suposta fonte de incômodo, interpretando-a como uma alegoria política indesejada. Esta percepção crítica pode representar uma suposta „quebra de imersão“, acarretada, neste caso, quando o contexto social e a polarização política externa ao jogo se infiltraram na experiência, transformando um elemento lúdico em uma barreira afetiva e cognitiva. Este relato, portanto, é de valor inestimável para a discussão, pois demonstra como o sucesso de uma intervenção pedagógica depende de um equilíbrio delicado entre mecânicas de jogo engajadoras e uma narrativa que seja convidativa, especialmente em contextos sociais sensíveis, tal como a polarização política do Brasil nos últimos anos.

Posterior a isso, também analisamos o desempenho das equipes na resolução dos enigmas propostos ao longo do jogo, conforme ilustrado na Figura 3, que apresenta o tempo médio necessário para a conclusão da atividade por cada grupo. Com isso, observamos que todas as equipes (100%) conseguiram solucionar todos os desafios, o que indica um alto nível de engajamento e persistência. No entanto, apenas duas equipes (33,3%) conseguiram finalizar o jogo dentro do tempo estipulado de 30 minutos. Assim, ao considerar o tempo-limite como critério para mensurar a taxa de sucesso, verificamos que apenas essas duas equipes alcançaram êxito completo no desempenho cronometrado.

Na experiência descrita neste artigo, os estudantes não receberam qualquer tipo de incentivo extrínseco para participar do jogo de *escape room* ‘EscaPolvo’. Ainda assim, demonstraram empenho em concluir a atividade mesmo após o término do tempo estipulado. Esse achado contrasta com os resultados apontados por Gordillo *et al.*,⁶² que observaram a permanência dos alunos na atividade motivada por um elemento adicional que consistia na possibilidade de acumular pontos na disciplina. No caso presente, o fato

de as equipes seguirem engajadas na resolução dos enigmas mesmo sem recompensas formais e mesmo após o limite de tempo sugere uma percepção positiva da atividade por parte dos participantes. Essa constatação, se trata, portanto, de uma evidência significativa, pois indica que os alunos estavam envolvidos de forma autêntica, reconhecendo valor formativo na experiência e atribuindo sentido no contexto de sua aprendizagem.

Ademais, além das percepções relacionadas ao engajamento e à experiência com a atividade, os registros provenientes do diário de campo e da sessão de *debriefing* também permitiram identificar momentos em que os estudantes mobilizaram explicitamente conceitos químicos durante a resolução dos enigmas. Esses excertos são relevantes porque destacam que a atividade não apenas estimulou o envolvimento dos participantes, mas também favoreceu a articulação de conhecimentos relacionados à química das mudanças climáticas. O Quadro 4 apresenta alguns excertos representativos dessas interações, evidenciando a articulação entre os desafios propostos no jogo e os conhecimentos químicos mobilizados pelos participantes.

Os excertos apresentados no Quadro 4 acima indicam que, durante a resolução dos desafios, os estudantes mobilizaram conhecimentos relacionados a diferentes conteúdos da química, como estrutura molecular, mudanças de estado físico, gases atmosféricos e cálculos de massa molar, etc. Essas interações sugerem que o *design* do jogo favoreceu momentos de articulação entre o contexto das mudanças climáticas e conceitos químicos previamente estudados, evidenciando que a atividade possibilitou não apenas engajamento, mas também a mobilização de conhecimentos disciplinares relevantes.

3.2. Seção (ii) | DTE: O desafio cognitivo inicial e a percepção de dificuldade sobre o jogo

Esta seção examina como os participantes perceberam

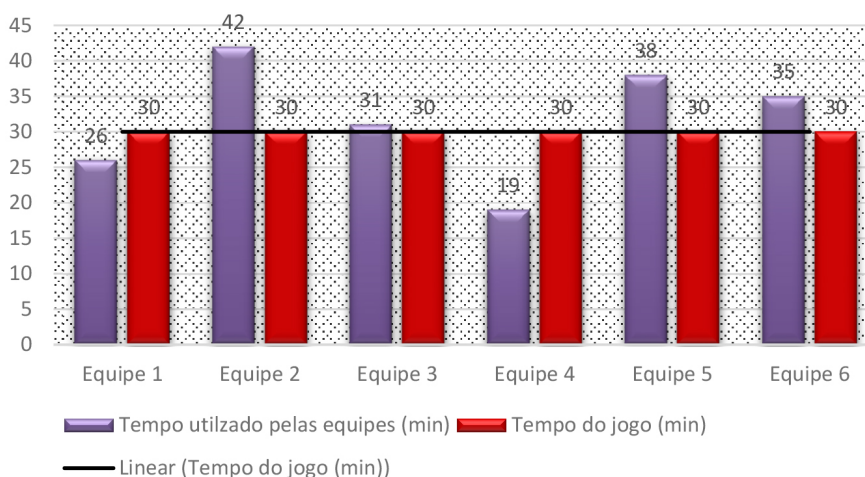


Figura 3. Gráfico do tempo médio gasto por cada equipe para finalizar o jogo

Quadro 4. Evidências de mobilização de conceitos químicos durante a resolução dos enigmas do jogo de *escape room* 'EscaPolvo'

Fase do Jogo	Conhecimento Químico Mobilizado	Exemplo de Fala do/a Discente
Fase 1 - Oceanos em perigo	Molécula diatômica e massa molar	"Se o enigma fala de um gás importante para os seres vivos e diz que é diatômico, é provavelmente o oxigênio. A massa molar é 32" (DEngQ7).
Fase 2 - Impacto da pecuária	Ciclo do nitrogênio e formação de gases do efeito estufa	"Aqui aparece NH_3 no ciclo do nitrogênio. A pecuária libera amônia e isso pode acabar formando outros gases do efeito estufa" (DEngQ12).
Fase 3 - Mudança de estado	Mudança de estado físico (fusão)	"Isso é fusão, porque o gelo está passando do estado sólido para o líquido" (DEngQ4).
Fase 4 - Gases do efeito estufa	Identificação de gases atmosféricos	"Aqui tem dióxido de carbono e óxido nítrico. Esses dois são gases que contribuem para o efeito estufa" (DEngQ18).
Fase 4 - Cálculo químico	Massa molar	"Para resolver, precisamos calcular a massa molar do gás. É só somar as massas atômicas" (DEngQ9).
Fase 5 - Chuva ácida	Reações atmosféricas envolvendo poluentes	"A chuva ácida acontece quando gases como dióxido de enxofre reagem na atmosfera e formam ácidos" (DEngQ21).

os desafios cognitivos iniciais apresentados no jogo 'EscaPolvo', com foco, especificamente, nas dificuldades relacionadas ao conhecimento prévio de química e na percepção de dificuldade sobre o jogo. Assim, estes aspectos são fundamentais para compreender a carga cognitiva intrínseca e sua relação com a autoeficácia dos estudantes. Diante disso, analisamos o item 4 do questionário estruturado, formado pela assertiva "A principal dificuldade de resolver os quebra-cabeças do jogo 'EscaPolvo' foi porque eu não lembrava conceitos de química". Os resultados para este item apontam uma distribuição interessante sobre as percepções dos participantes sobre suas dificuldades conceituais, pois a média obtida foi de 2,35 (DP = 0,89), com mediana de 2,00, indicando uma tendência geral de discordância com a referida afirmação de que a falta de conhecimentos prévios de conceitos químicos foi a principal dificuldade. Esse dado, por si só, já se mostra bastante revelador. Já que ele sugere que, apesar da complexidade envolvida nos enigmas, o jogo 'EscaPolvo' foi capaz de ultrapassar a lógica tradicional de uma simples avaliação de conteúdo. Em vez disso, propôs um contexto mais amplo de resolução de problemas, no qual o foco se

desloca do acúmulo de saberes isolados para a ativação de estratégias cognitivas mais amplas. A Tabela 1 traz uma síntese desses resultados e citações representativas.

Ademais, tal constatação encontra eco na literatura. Em uma revisão sistemática sobre o uso de jogos de *escape room* no contexto educacional, Fotaris e Mastoras⁹ destacaram a diversidade dos tipos de quebra-cabeças utilizados nesse tipo de proposta, muitos dos quais exigem habilidades como observação atenta, pensamento lógico, reconhecimento de padrões e raciocínio lateral. Isso reforça a ideia de que o desafio cognitivo não se limita àquilo que o aluno "sabe", mas se estende ao modo como ele estrutura seu pensamento diante de uma situação-problema. Esse aspecto se torna ainda mais relevante quando relacionado à Teoria da Carga Cognitiva. A percepção majoritária de que o conhecimento químico prévio não foi um obstáculo central indica que o *design* do jogo pode ter sido bem-sucedido em reduzir a Carga Cognitiva Intrínseca, ou seja, aquela relacionada diretamente à complexidade do conteúdo em si. Dito de outro modo, a predominância das respostas de discordância sugere, portanto, que os conceitos químicos foram apresentados de forma acessível, favorecendo o

Tabela 1. Síntese da DTE (ii) - O desafio cognitivo inicial e a percepção de dificuldade sobre o jogo

DTE: Desafio Cognitivo Inicial e a Percepção de Dificuldade Sobre o Jogo (1 = Discordo Totalmente (DT) a 4 = Concordo Totalmente (CT))	M - DP	Moda (Md)	(% , n)		Citações Representativas (Exemplos)
			D	**C	
Item 4. A principal dificuldade de resolver os quebra-cabeças do jogo 'EscaPolvo' foi porque eu não lembrava conceitos de química.	2,35 - 0,89	2,00	61,5%, 16	38,5%, 10	"o jogo é muito legal, mas eu não me lembro das coisas" (DEngQ7)
Item 6. O jogo 'EscaPolvo' estava muito difícil.	1,96 - 0,72	2,00	84,6%, 22	15,4%, 4	"No início, achei o jogo 'EscaPolvo' muito difícil. Os enigmas exigiam bastante raciocínio e colaboração com o grupo. Mas, depois que começamos a discutir mais entre a equipe, conseguimos avançar melhor. Foi desafiador, mas no final senti que aprendi bastante" (DEngQ15)

Legenda: Média (M), desvio padrão (DP) e moda (Mo), porcentagem (%) e número amostral correspondente (n). *D e **C: No contexto desta pesquisa, os itens da escala Likert foram agrupados para fins de análise, de modo que as respostas "Discordo Totalmente" e "Discordo Parcialmente" foram reunidas sob a categoria *discordância* (pontuações 1 e 2), enquanto "Concordo Totalmente" e "Concordo Parcialmente" foram agrupadas como *concordância* (pontuações 3 e 4).

engajamento sem impor uma sobrecarga desnecessária de saberes prévios aos participantes.

Porém, quando inquiridos sobre “O jogo ‘EscaPolvo’ estava muito difícil”, os dados deste item mostram um forte consenso entre os participantes. Pois, a média de 1,96 (DP = 0,72), bem abaixo do ponto médio da escala, e a mediana de 2,00 indicam que os estudantes, de forma geral, não consideraram o jogo excessivamente difícil. Este resultado, quando contrastado com o item anterior, reforça a ideia de que o *design* do jogo apresentado na intervenção pedagógica foi eficaz. De acordo com a Teoria da Carga Cognitiva, um desenho instrucional claro e bem estruturado é capaz de reduzir a carga extrínseca (o esforço mental desnecessário imposto pela forma de apresentação), fazendo com que a tarefa geral pareça mais acessível. Neste viés, precisamos ressaltar que a percepção dos alunos sobre sua experiência com desafios gerenciáveis em termos da resolução de problemas se torna crucial para a autoeficácia, pois, como afirma Bandura,⁶³ os indivíduos tendem a se engajar em tarefas que julgam estar dentro de suas capacidades. Logo, a baixa percepção de dificuldade sugere que o jogo instigou o engajamento, em vez de intimidar os participantes. Além disso, pesquisas apoiam nossos achados, pois asseguram que, ao criar experiências de aprendizagem envolventes e relevantes, os alunos têm mais probabilidade de permanecer interessados na sua aprendizagem.⁶⁴

3.3. Seção (iii) | DTE: O design do jogo como redutor da carga cognitiva

Quando se deseja fomentar a crença dos estudantes em sua própria capacidade de enfrentar desafios, Bandura⁶³ chamou de autoeficácia. Ela é imprescindível para eles vivenciarem situações exitosas em função de suas aprendizagens quando construídas a partir de seus próprios esforços. Tais vivências constituem a fonte mais potente para a consolidação da autoeficácia. No entanto, em atividades de maior complexidade (tal qual como apresentada pelo jogo ‘EscaPolvo’), o risco de ‘fracasso’ pode fragilizar essa crença e comprometer, por exemplo, o engajamento e, consequentemente, diminuir a sua autoeficácia percebida. No jogo ‘EscaPolvo’, fornecemos suporte para tentar, ao máximo, evitar influências negativas no engajamento individual e coletivo dos alunos, ofertando, desse modo, orientações iniciais claras e disponibilizando pistas, exibidas no *App* ao longo do percurso resolutivo disposto para cada enigma, ou seja, elas atuaram como um tipo de apoio perante os alunos para reduzirem a complexidade da tarefa, permitindo assim que eles a concluíssem.⁶⁵ Esses elementos não anularam o desafio imposto por cada fase do jogo, mas podem ter atuado como ‘defesas’ cognitivas, ou seja, permitindo que os estudantes avançassem sem que

ficassem estagnados diante de dificuldades momentâneas.

Já a análise empírica dos itens 7 e 9 do questionário estruturado, apresentados na Tabela 2, revela um reconhecimento expressivo por parte dos participantes quanto à efetividade dos apoios oferecidos durante o jogo. O item 7, que avaliava a suficiência das orientações iniciais, apresentou média de 3,42 (DP = 0,70) e mediana de 4,00. Já o item 9, que investigava a utilidade das pistas fornecidas ao longo da atividade, registrou média de 3,38 (DP = 0,75), também com mediana de 4,00. Esses resultados indicam um elevado grau de concordância entre os participantes acerca da importância desses mecanismos para o progresso no jogo. Esses achados convergem com a revisão conduzida por Martin e Evans,⁶⁶ que investigaram como a redução da carga cognitiva pode influenciar a motivação e o engajamento dos estudantes. Segundo os autores, práticas instrucionais que contribuem para diminuir a carga cognitiva extrínseca tendem a favorecer fatores como motivação, engajamento, autoeficácia e monitoramento das próprias ações, especialmente em atividades que exigem persistência na resolução de tarefas desafiadoras. Com efeito, à luz da Teoria da Carga Cognitiva (TCC), esse reconhecimento pode ser interpretado como um indicativo de que apoios instrucionais bem calibrados, como orientações claras e pistas adequadas, ajudam a reduzir a carga extrínseca da tarefa. Com isso, os estudantes podem direcionar seus recursos cognitivos para o raciocínio necessário à resolução dos enigmas, em vez de gastar esforço tentando compreender procedimentos operacionais ou decidir quais passos devem ser tomados a seguir.

Subsequentemente, outro indicativo relevante do efeito do design da atividade pode ser observado na análise do item 5 do questionário, que investigou se o jogo foi percebido como estressante pelos participantes. Conforme apresentado anteriormente, os dados indicaram média de 1,96 (DP = 0,77) e mediana de 2,00, evidenciando uma tendência predominante de discordância quanto à presença de estresse durante a experiência. Esse resultado merece atenção, especialmente porque atividades baseadas em desafios e com tempo limitado, como os jogos de *escape*, frequentemente podem gerar níveis elevados de tensão ou ansiedade entre os participantes. No entanto, os dados obtidos neste estudo sugerem que tal efeito não se manifestou de forma relevante entre os estudantes. Em termos analíticos, isso indica que o estresse potencialmente associado à atividade não foi suficiente para comprometer o funcionamento da memória de trabalho dos participantes. Essa interpretação encontra respaldo no estudo de Eysenck,⁶⁷ que demonstra que níveis elevados de ansiedade tendem a prejudicar o desempenho acadêmico justamente porque a memória de trabalho passa a ser ocupada por preocupações e pensamentos intrusivos, em vez de permanecer focada na resolução da tarefa.

Tabela 2. Síntese da DTE (iii) – O *design* do jogo como redutor da carga cognitiva, desafio cognitivo inicial e a percepção de dificuldade sobre o jogo

DTE: O design do Jogo Como Redutor da Carga Cognitiva (1 = Discordo Totalmente a 4 = Concordo Totalmente)	M - DP	Moda (Mo)	(% , n)		Citações Representativas (Exemplos)
			*D	**C	
Item 7. A orientação inicial fornecida antes do jogo 'EscaPolvo' foi suficiente.	3,42 - 0,70	4,00	7,7%, 2	92,3%, 24	<i>Experiência positiva, conteúdo de maneira dinâmica e bem explicado. Gostei das orientações e de como as perguntas foram elaboradas" (DengQ₉)</i>
Item 9. As pistas obtidas foram úteis para progredir no jogo 'EscaPolvo'.	3,38 - 0,75	4,00	7,7%, 2	92,3%, 24	<i>As pistas ajudaram bastante! Tinha hora que a gente empacava, mas aí vinha uma dica e tudo começava a fazer sentido" (DengQ₂₃)</i>
Item 5. O jogo 'EscaPolvo' foi uma experiência estressante.	1,96 - 0,77	2,00	84,6%, 22	15,4%, 4	<i>"O método escape room é uma forma de ensino didático que facilitou o entendimento sobre a temática, porém, o tempo foi um fator que limitou o raciocínio" (DengQ₃)</i>

Legenda: Média (M), desvio padrão (DP) e moda (Mo), porcentagem (%) e número amostral correspondente (n). *D e **C: No contexto desta pesquisa, os itens da escala Likert foram agrupados para fins de análise, de modo que as respostas "Discordo Totalmente" e "Discordo Parcialmente" foram reunidas sob a categoria *discordância* (pontuações 1 e 2), enquanto "Concordo Totalmente" e "Concordo Totalmente" foram agrupadas como *concordância* (pontuações 3 e 4).

Nesse sentido, os resultados sugerem que o *design* do jogo conseguiu manter um equilíbrio adequado entre desafio e apoio instrucional. Quando os estudantes percebem a tarefa como desafiadora, mas ao mesmo tempo identificam caminhos possíveis para superá-la, a tendência é que sua motivação e engajamento sejam preservados. Esse equilíbrio contribui para fortalecer a autoeficácia percebida, aspecto que, no contexto da Teoria da Carga Cognitiva, se relaciona diretamente com a forma como os estudantes percebem e gerenciam as demandas cognitivas da atividade. De maneira semelhante, Feldon *et al.*⁶⁸ apontam que autoeficácia e carga cognitiva compartilham um elemento comum, pois ambas estão relacionadas à percepção que o estudante constrói sobre sua própria capacidade de lidar com uma tarefa específica.

3.4. Seção (iv) | DTE: A colaboração como estratégia de distribuição da carga e percepção sobre a eficácia coletiva

Avançando nas discussões, ao examinarmos os dados relacionados à experiência coletiva vivenciada pelos estudantes durante a aplicação do jogo *escape room* 'EscaPolvo', se tornou evidente que o trabalho em equipe não foi apenas uma característica operacional da atividade, mas sim um elemento central que pode ter contribuído para otimizar os efeitos da carga cognitiva na Memória de Trabalho, visando, desse modo, para facilitar o acúmulo de conhecimento sobre a temática na Memória de Longo Prazo (MLP). Para tanto, a análise do item 2 do questionário estruturado "Gostei de participar da sala de fuga... em equipe" forneceu uma média notavelmente elevada (M = 3,65), com um desvio padrão reduzido

(DP = 0,62) e mediana no ponto mais alto da escala (4,00). Sem demora, esses indicadores estatísticos revelam uma aceitação quase unânime da experiência colaborativa como algo positivo. Logo, a interpretação desses achados se alinha, por exemplo, com a averiguação realizada por Feldon, Brochbank e Litson⁵ quando reconheceram que as emoções autopercebidas e a carga cognitiva são preditores da aceitação dos alunos em relação aos componentes da aprendizagem.

Destarte, o jogo de *escape room* 'EscaPolvo' demonstrou também contribuir efetivamente para o desenvolvimento de habilidades interpessoais, como o trabalho em equipe e a liderança exercida por alguns participantes. A literatura especializada aponta que jogos de fuga favorecem a aprendizagem colaborativa ao promoverem a interdependência positiva entre os membros, a complementaridade de papéis e a partilha de informações essenciais à resolução das tarefas.⁶⁹ Tais aspectos foram igualmente observados nas notas do diário de campo e nas transcrições da sessão de *debriefing*, indicando que os efeitos pedagógicos relatados na literatura se manifestaram de maneira análoga neste estudo. Além disso, pautada sob o avanço da perspectiva da Teoria da Carga Cognitiva para a Teoria da Carga Cognitiva Colaborativa (TCCC), proposta por Kirschner *et al.*,⁷⁰ é importante destacar que, em contextos colaborativos, múltiplos elementos de interação podem ser distribuídos entre as diferentes memórias de trabalho dos integrantes do grupo, o que contribui para aliviar a sobrecarga cognitiva individual e otimizar o desempenho coletivo na resolução dos enigmas propostos.

Em continuidade a isso, exploramos a experiência coletiva a partir de elementos mais sutis, mas igualmente reveladores, por exemplo, a análise do item 3 "Todos os

membros da equipe estavam igualmente envolvidos...”, trouxe uma média mais moderada ($M = 2,96$), com desvio padrão um pouco mais elevado ($DP = 0,82$) e mediana de 3,00. Esses dados sugerem que, embora a maioria dos participantes tenha percebido uma participação relativamente equilibrada entre os colegas, essa experiência não foi uniforme em todos os grupos. Ou seja, enquanto algumas equipes operaram de forma coesa e igualitária para tomar decisões, outras enfrentaram assimetrias no envolvimento dos membros, evidenciando, desse modo, que o uso da aprendizagem colaborativa tem implicações para a CCE,⁷¹ que, por extensão já anteriormente discutida na literatura, está incutida na maneira como a informação é apresentada ou ensinada, reforçando a importância que materiais bem elaborados para uso em sala de aula podem minimizá-la ao máximo para que toda a capacidade da memória de trabalho dos alunos seja dedicada à aprendizagem diante de um contexto apresentado. A Tabela 3 ilustra os resultados e incorpora exemplos de relatos.

Embora, no curto prazo, a aprendizagem colaborativa favoreça que os membros de um grupo unam esforços para resolver uma tarefa ou problema específico, seus efeitos mais profundos e duradouros se manifestam no longo prazo por meio da MLP. Assim, ao elaborar o jogo *escape room* 'EscaPolvo' para ser uma atividade colaborativa, ela demonstrou possibilitar que todos os participantes desenvolvessem experiências que aprimoram suas competências sociais, mas também facilitam a construção de conhecimentos específicos a partir do esforço conjunto⁷² em resolver os problemas e elucidar os enigmas do jogo. Assim, houve indícios de que, no contexto colaborativo estruturado, os estudantes compartilharam não apenas responsabilidades, mas também processos mentais ao externar ideias, articular estratégias e apoiar mutuamente na resolução dos desafios. Assim, nessa ordem de raciocínio, percebemos que houve um equilíbrio na participação entre os membros da equipe, fazendo com que

o grupo operasse como uma unidade cognitiva expandida, cuja capacidade de processamento superou a de qualquer indivíduo isolado de uma determinada equipe. Além disso, os achados mencionados estão alinhados com os resultados de Alzubi *et al.*⁷³ quando constataram que a MT pode ser desenvolvida individualmente ou em pares por meio de pequenos grupos.

Em suma, sob a ótica da Teoria da Carga Cognitiva, os dados deste estudo indicam que o *design* do jogo *escape room* 'EscaPolvo' foi, em grande medida, bem-sucedido em promover uma distribuição funcional da carga cognitiva entre os integrantes das equipes. Com efeito, o apoio mútuo e a colaboração demonstraram amenizar a CCE, como também permitiram que cada aluno/a contribuísse com suas habilidades de maneira autônoma e equilibrada mesmo diante de tarefas desafiadoras que exigiram a tomada de decisão sob pressão de tempo. Nesse contexto, a colaboração entre os membros da equipe aparentou atuar como um mecanismo regulador da aprendizagem, tornando-a mais sustentável e cognitivamente viável. Ademais, a participação igualitária fortaleceu a construção daquilo que Bandura⁶³ denominou eficácia coletiva, ou seja, a crença compartilhada na capacidade do grupo de alcançar seus objetivos.

3.5. Seção Seção (v) | DTE: A experiência com o jogo e sua utilidade autopercebida para o aprendizado

No que concerne à última DTE, que buscava compreender como os participantes avaliaram a experiência com o jogo 'EscaPolvo' em termos da autopercepção sobre a aprendizagem efetiva e utilidade do jogo ao revelar a satisfação geral e disposição para futuras vivências pedagógicas similares. Tais aspectos foram essenciais para compreendermos os efeitos da Didatização Lúdica¹ a partir de um jogo de *escape room* na construção da autoeficácia dos estudantes, especialmente quando envolvem tarefas desafiadoras e colaborativas. Para tal, a percepção de

Tabela 3. Síntese da DTE (iv) – A colaboração como estratégia de distribuição da carga e percepção sobre a eficácia coletiva

DTE: A Colaboração Como Estratégia de Distribuição da Carga e Percepção Sobre a Eficácia Coletiva (1 = Discordo Totalmente a 4 = Concordo Totalmente)	M - DP	Moda (Mo)	(% , n)		Citações Representativas (Exemplos)
			*D	**C	
Item 3. Todos os membros da equipe estavam igualmente envolvidos...	2,96 - 0,82	3,00	26,9%, 7	77,1%, 19	"O que mais gostei foi o trabalho em equipe porque a tentativa de fuga estimulou a gente a ser mais rápido" (DengQ ₁₉)
Item 2. Gostei de participar da sala de fuga (<i>escape room</i>) em equipe.	3,65 - 0,62	4,00	3,8%, 1	96,2%, 25	"Achei muito legal fazer a sala de fuga em grupo. A gente se ajudou bastante e isso deixou tudo mais divertido e menos estressante" (DengQ ₈)

Legenda: Média (M), desvio padrão (DP) e moda (Mo), porcentagem (%) e número amostral correspondente (n). *D e **C: No contexto desta pesquisa, os itens da escala Likert foram agrupados para fins de análise, de modo que as respostas "Discordo Totalmente" e "Discordo Parcialmente" foram reunidas sob a categoria *discordância* (pontuações 1 e 2), enquanto "Concordo Totalmente" e "Concordo Totalmente" foram agrupadas como *concordância* (pontuações 3 e 4).

aprendizagem foi medida por meio do item 1 “A sala de fuga me ajudou a adquirir conhecimentos sobre mudanças climáticas”, que obteve uma média de 3,27 (DP = 0,60) e mediana de 3,00. Esse dado sugere que o jogo foi percebido como uma ferramenta eficaz para a construção de conhecimento, indo além do entretenimento ou da motivação momentânea.

Desta forma, sob o prisma da TCC, é possível inferir que o *design* do jogo de *escape room* ‘EscaPolvo’ possivelmente foi capaz de minimizar a CCE ao oferecer uma experiência de resolução de problemas contextualizada e efetiva, pois o jogo não apenas facilitou a aprendizagem de conteúdos relacionados às mudanças climáticas, mas também promoveu um tipo de engajamento cognitivo que favorece a retenção e a aplicação prática do conhecimento. Logo, essa observação reforça a hipótese de que o jogo pode ter ajudado os alunos a armazenar informações na memória de longo prazo, pois o processamento de novas informações exige esforço mental, resultando na diminuição da carga cognitiva na memória de trabalho, que afeta os resultados da aprendizagem.⁶ A seguir, a Tabela 4 compila os resultados obtidos para esta seção.

No entanto, sob a perspectiva da TCC, é possível inferir que o *design* do ‘EscaPolvo’ foi eficaz em reduzir a CCE, ao oferecer uma experiência de resolução de problemas contextualizada, estruturada e relevante. Com esse feito, o jogo não apenas favoreceu a compreensão dos conteúdos relacionados às mudanças climáticas, mas também promoveu um tipo de engajamento cognitivo que

pode ter facilitado tanto a retenção quanto a transferência do conhecimento para situações práticas. Nesse sentido, a evidência empírica reforça a hipótese de que o jogo pode ter contribuído para o armazenamento das informações na memória de longo prazo. Isto denota, possivelmente, que nosso estudo também está de acordo com a literatura resumida em Sweller,⁶ já que o processamento de novos conhecimentos exige esforço mental, e, quando a carga cognitiva na memória de trabalho é adequadamente gerenciada, os resultados da aprendizagem tendem a ser mais eficazes.

Por defluência imediata, os dados relativos à satisfação com a experiência e a disposição para participar de futuras atividades semelhantes reforçam esse quadro positivo, pois o item “Você gostaria de participar de uma sala de fuga na aula com mais frequência?” revelou que 76,9% (n=20) dos estudantes responderam “Sim” e 19,2% (n=5) “Talvez”, totalizando 96,1% (n=25) de respostas favoráveis à repetição da proposta. Porém, contrariamente ao exposto, apenas um/a participante (3,9%, n=1) respondeu negativamente. Já o item “Você recomendaria que outros alunos participassem da sala de fuga ‘EscaPolvo’?” obteve aprovação quase unânime, revelando que 96,1% (n=25) responderam “Sim” e apenas 3,9% (n=1) “Talvez”, com nenhuma resposta negativa registrada. Esses resultados podem ser interpretados não apenas como indicadores de satisfação pontual, mas também como expressões da consolidação de que a intervenção pedagógica por meio do uso do jogo de *escape room* ‘EscaPolvo’ foi bem planejada ao integrar desafios, suporte

Tabela 4. Síntese da DTE (iii) – A experiência com o jogo e sua utilidade autopercebida para o aprendizado

DTE: A Experiência Com o Jogo e Sua Utilidade Autopercebida Para o Aprendizado (1 = Discordo Totalmente a 4 = Concordo Totalmente)	M - DP	Moda (Mo)	(% , n)		Citações Representativas (Exemplos)
			*D	**C	
Item 1. A sala de fuga (<i>escape room</i>) me ajudou adquirir conhecimentos sobre mudanças climáticas.	3,27 - 0,60	3,00	11,5%, 3	88,5%, 23	“O jogo é bem didático e estimulou a busca por conhecimentos enquanto conscientiza sobre questões sustentáveis” (DengQ₁₂) “Foi uma experiência diferente e divertida que ajudou a relembrar vários conceitos químicos e biológicos importantes...” (DengQ₅)
12. Você gostaria de participar de uma sala de fuga (<i>escape room</i>) na aula com mais frequência?					
SIM - (F%, n)		NÃO - (F%, n)		TALVEZ - (F%, n)	
76,9%, 20		3,9%, 1		19,2%, 5	
13. Você recomendaria que outros alunos participassem da sala de fuga ‘EscaPolvo’?					
SIM - (F%, n)		NÃO - (F%, n)		TALVEZ - (F%, n)	
96,1%, 25		-		3,9%, 1	

Legenda: Média (M), desvio padrão (DP) e moda (Mo), porcentagem (%) e número amostral correspondente (n). *D e **C: No contexto desta pesquisa, os itens da escala Likert foram agrupados para fins de análise, de modo que as respostas “Discordo Totalmente” e “Discordo Parcialmente” foram reunidas sob a categoria *discordância* (pontuações 1 e 2), enquanto “Concordo Totalmente” e “Concordo Totalmente” foram agrupadas como *concordância* (pontuações 3 e 4).

e colaboração, gerando conhecimentos ao mesmo tempo em que fortaleceu a autoconfiança dos estudantes frente à nova situação de aprendizagem ao dar indícios sobre a possível diminuição da CCE.

3.6. Seção Seção (vi) | Síntese integradora dos achados à luz das DTEs

A análise transversal dos dados empíricos, articulada às cinco Dimensões Teóricas Elucidativas (DTEs), compilados e exibidos por meio das Tabelas 1, 2, 3 e 4, permite compreender de forma mais ampla como o jogo de *escape room* 'EscaPolvo' modulou a carga cognitiva dos participantes e influenciou suas autopercepções de aprendizagem. Diante dessas acepções, a realização da atividade denotou equilibrar adequadamente a carga cognitiva, respeitando as limitações da memória de trabalho, ao mesmo tempo em que favoreceu a construção de esquemas de longo prazo.⁶ Podemos considerar que o *design* do jogo evitou sobrecargas desnecessárias, promovendo um suporte contextualizado ao criar um ambiente emocionalmente seguro, aspectos que, em conjunto, sustentaram a autoeficácia percebida dos participantes ao longo da intervenção.

Percebemos também que o jogo 'EscaPolvo', ao mesclar informações auditivas (por meio do *App*) e aspectos visuais inseridos no Livro de Enigmas, demonstrou amenizar a carga cognitiva sobre a memória de trabalho dos alunos. Assim, as etapas do jogo forneceram aos alunos orientações e suportes para que eles criassem modelos mentais de como lidar com os problemas inseridos nele por meio de enigmas. Isso sugere que o jogo foi bem-sucedido em atenuar a carga cognitiva intrínseca, provavelmente ao distribuir os conceitos químicos de forma contextualizada e acessível. Logo, ao invés de exigir apenas a recuperação de informações armazenadas na memória de longo prazo, o jogo de *escape room* 'EscaPolvo' estimulou o uso de estratégias cognitivas adaptativas, como raciocínio lógico e resolução de problemas e, como bem já apontado por Fotaris e Mastoras,⁹ elas são recorrentes nos jogos de *escape rooms* educativos porque ampliam o escopo da aprendizagem.

Do ponto de vista colaborativo, a experiência se mostrou amplamente positiva, com distribuição igualitária do envolvimento e percepção de pertencimento, o que contribuiu para a construção da eficácia coletiva, sendo um elemento essencial para o engajamento em propostas educativas que apresentam um teor inovador. Complementarmente, o *design* do jogo se mostrou eficaz em reduzir a carga extrínseca, ou seja, aquela imposta pela forma de apresentação das tarefas. A disponibilização de instruções claras e pistas oportunas⁶⁵ foi percebida pelos alunos como facilitadora do percurso resolutivo, fato que

contribuiu para manter a atenção dirigida ao problema em si, e não à compreensão das regras da atividade. Em linha com as observações de Martin e Evans,⁶⁶ essa estrutura bem calibrada não apenas reduziu o esforço mental desnecessário, como também reforçou a autoeficácia e o engajamento, características diretamente ligadas ao desempenho acadêmico.

Avançando nas discussões, precisamos destacar que um dos indicadores mais robustos da adequação da carga cognitiva está relacionado à baixa percepção de estresse relatada pelos participantes com o jogo 'EscaPolvo'. Isso é particularmente relevante se considerarmos que emoções negativas, como a ansiedade, podem sequestrar recursos da memória de trabalho, comprometendo o desempenho.⁶⁷ No caso do 'EscaPolvo', o equilíbrio entre desafio e apoio parece ter criado um ambiente de esforço produtivo, no qual os estudantes se mantiveram desafiados, mas sem se sentirem sobrecarregados, denotando, assim, que o *design* do jogo foi eficaz em mitigar o risco de sobrecarga cognitiva. Neste ponto, se torna inescapável destacar o papel da colaboração como um elemento modulador da carga cognitiva, já que a evidência empírica e a literatura convergem ao apontar que ambientes colaborativos bem estruturados permitem a distribuição dos elementos da tarefa entre os membros do grupo, aliviando a sobrecarga individual da memória de trabalho.⁷⁰ Logo, o jogo não apenas demonstrou promover a eficácia coletiva,⁶³ mas também serviu como uma instância de desenvolvimento da memória de trabalho expandida, com base no intercâmbio constante de ideias, estratégias e ações entre os participantes.

Esse efeito colaborativo pode, inclusive, ter contribuído para a transferência de conhecimento para a memória de longo prazo, como indicam os relatos de percepção positiva quanto à aquisição de conhecimentos sobre mudanças climáticas. Neste sentido, os resultados corroboram as proposições de Kalyuga,⁷² ao apontar que a complexidade da tarefa, quando mediada coletivamente, não compromete a aprendizagem, ao contrário, pode potencializá-la. Ademais, a literatura mais recente reforça essa leitura. Por exemplo, o estudo de Rushdan *et al.*⁷⁴ demonstrou que jogos de *escape rooms* educativos, ao integrarem colaboração, desafio e objetivos cognitivos bem definidos, favorecem o desenvolvimento de habilidades de raciocínio e trabalho em equipe, elementos fundamentais para o sucesso acadêmico e profissional. Neste viés, os achados da presente investigação estão em consonância com a ideia de que a participação em salas de *escape* com finalidade educacional apresenta potencial para a ampliação dos conhecimentos por parte dos estudantes.^{75,8,76,22}

Outro ponto crucial reside na temporalidade dos efeitos observados neste estudo, pois, embora os dados desta pesquisa tenham sido coletados imediatamente após a

intervenção, estudos como o de Maertens *et al.*⁷⁷ sinalizam que os benefícios do uso de jogos de *escape* podem perdurar, desde que acompanhados de avaliações em longo prazo. Portanto, há espaço para investigações futuras que analisem, por exemplo, a retenção do conhecimento semanas após a experiência inicial, permitindo validar a hipótese de que a aprendizagem contextualizada, engajadora e colaborativa realmente se consolida na memória de longo prazo. Contudo, nem todos os efeitos foram linearmente positivos. Por fim, os dados indicam que a sequência temporal do jogo após a instrução foi determinante para os efeitos positivos observados. Como destacam Buchner, Rüter e Kerres,⁷⁸ jogar após a instrução é mais eficaz para a aprendizagem do que antes, pois os alunos já dispõem de um arcabouço conceitual minimamente estruturado para aplicar durante a experiência lúdica.

4. Conclusão

A questão de investigação que orienta este estudo foi: de que maneira o *design* do jogo de *escape room* 'EscaPolvo' modula a carga cognitiva ao influenciar a autopercepção de aprendizagem de estudantes sobre a química no contexto das mudanças climáticas? Com base nos resultados obtidos, concluímos que o *design* do jogo apresentado modulou positivamente a carga cognitiva dos participantes ao equilibrar desafio, suporte e colaboração, favorecendo a gestão da memória de trabalho e resultando em percepções elevadas de aprendizagem e autoeficácia.

De modo geral, a intervenção pedagógica por meio do jogo se revelou eficaz tanto na aquisição quanto na aplicação do conhecimento, especialmente ao abordar conteúdos associados às mudanças climáticas (ODS 13) por meio da aplicação de um jogo de *escape room*, promovendo também o compromisso com a qualidade da educação (ODS 4) ao utilizar a Didatização Lúdica para fomentar a Educação para o Desenvolvimento Sustentável em sala de aula. No entanto, esperamos, portanto, que a participação dos estudantes no jogo contribua para ampliar a conscientização sobre a crise climática, favorecendo um engajamento mais ativo que ultrapasse os limites da sala de aula ao desencadear atitudes comportamentais diante da temática.

Ademais, as análises descritivas realizadas (médias, medianas, desvios padrão e frequências) foram adequadas ao tamanho amostral ($n=26$) e forneceram uma caracterização robusta das percepções dos participantes. Nesses termos, a alta consistência interna dos dados e as tendências claras observadas conferem validade preliminar aos achados, indicando que o jogo de *escape room* 'EscaPolvo' é uma ferramenta educativa promissora para o ensino de Química contextualizado em questões socioambientais. No entanto, algumas limitações devem ser reconhecidas. A análise

qualitativa foi restrita a uma única questão aberta, o que limitou a profundidade dos relatos em relação às cinco Dimensões Teóricas Elucidativas. Além disso, embora os elementos interativos do jogo tenham sido utilizados para modular a complexidade das tarefas, a mensuração da carga cognitiva baseada em estimativas subjetivas dos participantes pode ter sido afetada por variações individuais de conhecimento prévio. Ainda, desequilíbrios no envolvimento de membros da equipe sugerem que, em alguns casos, houve concentração da carga cognitiva, o que pode ter comprometido o desempenho coletivo.

Contudo, apesar dessas limitações, os comentários abertos confirmam a consistência dos dados quantitativos e evidenciam que os estudantes de Engenharia Química perceberam a atividade como altamente agradável, motivadora e benéfica para a aprendizagem. Com efeito, os resultados deste estudo estão alinhados com investigações anteriores sobre salas de *escape* educacionais e validam o uso contínuo dessa inovação no ensino de Química. Enfim, recomendamos que pesquisas futuras explorem amostras mais amplas, incorporem entrevistas em profundidade e considerem métricas mais precisas, como o tempo de resolução de cada enigma, por exemplo. Nesses termos, essas direções poderão ampliar o conhecimento sobre a eficácia dos jogos de *escape* e aprimorar seu potencial no ensino superior.

Por fim, consideramos que as conclusões deste estudo oferecem implicações práticas valiosas para educadores de Química e de outras áreas que desejam implementar o jogo de *escape room* em sala de aula em incentivo à Didatização Lúdica. Por último, mas não menos importante, este estudo destaca a importância de os professores reconhecerem tanto as potencialidades quanto os limites que envolvem a carga cognitiva e seu impacto direto sobre a memória de trabalho dos estudantes. Isto implica que, ao planejar experiências de aprendizagem, é essencial adotar estratégias que evitem a sobrecarga dessa memória, a fim de potencializar a retenção e a compreensão dos conteúdos, já que a memória de trabalho possui uma capacidade limitada de processamento simultâneo de informações, o que exige atenção ao modo como o conteúdo é apresentado. Em contrapartida, a memória de longo prazo organiza o conhecimento em esquemas (estruturas cognitivas que agrupam informações relacionadas), e, quando bem estabelecidos, funcionam como unidades únicas na memória de trabalho, facilitando o processamento de informações complexas e contribuindo para um aprendizado mais eficaz.

Notas

^aO *WhatsApp* possui um recurso com elevado potencial para pesquisadores durante o uso em suas intervenções

pedagógicas, pois ele permite a transcrição de áudio, convertendo mensagens de voz em texto, facilitando, em muito, a leitura e compilação do conteúdo para análise futura.

^b O jogo está disponível para impressão e uso [LINK de acesso ao Jogo EscaPolvo].

^c *Escape Team* está disponível, gratuitamente, para download tanto na *App Store* (iOS) quanto na *Google Play Store* (Android).

Agradecimentos

A autora agradece todo o empenho da discente de Iniciação Científica 'Julia Gonçalves', que desenvolveu o jogo em parceria à orientação recebida por meio do projeto PIB2854-2021 "Escape Room Portátil como Estratégia para Promoção da Consciência Ambiental" (PRRPPG/UNILA), ao Projeto de Extensão "Naipi vai à escola" (PROEX/UNILA) e ao CNPq, processo 310237/2022-0.

Referências Bibliográficas

- Cleophas, M. G.; Soares, M. H. F. B.; *Didatização Lúdica no Ensino de Química/Ciências*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018.
- Bilbao-Quintana, N.; Romero-Andonegui, A.; Portillo Bera, J.; López-de-la-Serna, A.; Digital Escape Room for the Development of Collaborative Learning in Higher Education. *Education in the Knowledge Society* **2022**, 23, 1. [Crossref]
- Vázquez, A.; Manassero, M. A.; En defensa de las actitudes y emociones en la educación científica (I): Evidencias y argumentos generales. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* **2007**, 4, 247. [Crossref]
- Tzafilikou, K.; Perifanou, M.; Economides, A. A.; Negative emotions, cognitive load, acceptance, and self-perceived learning outcome in emergency remote education during COVID-19. *Education and Information Technologies* **2021**, 26, 7497. [Crossref]
- Feldon, D. F.; Brockbank, R. B.; Litson, K.; Direct Effects of Cognitive Load on Self-Efficacy During Instruction. *Journal of Educational Psychology* **2024**, 116, 1153. [Crossref]
- Sweller, J.; Cognitive Load during Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science* **1988**, 12, 257. [Crossref]
- Guckian, J.; Eveson, L.; May, H.; The great escape? The rise of the escape room in medical education. *Future Healthcare Journal* **2020**, 7, 112. [Crossref]
- Ang, J. W. J.; Ng, Y. N. A.; Liew, R. S.; Physical and digital educational escape room for teaching chemical bonding. *Journal of Chemical Education* **2020**, 97, 2849. [Crossref]
- Fotaris, P.; Mastoras, T.; Resumos do *Proceedings of the 13th European Conference on Games Based Learning*, Odense, Denmark, 2019. [Link]
- Buchner, J.; Playing an Augmented Reality Escape Game Promotes Learning About Fake News. *Technology, Knowledge and Learning* **2025**, 30, 425. [Crossref]
- Peleg, R.; Yayon, M.; Kathechovich, D.; Moria-Shipony, M.; Blonder, R.; A lab-based chemical escape room: Educational, mobile, and fun! *Journal of Chemical Education* **2019**, 96, 955. [Crossref]
- Cleophas, M. G.; Cavalcanti, E. L. D.; Escape room no ensino da química. *Química Nova na Escola* **2020**, 42, 45. [Crossref]
- González de la Torre, H.; Hernández de Luis, M. N.; Mies-Padilla, S.; Camacho-Bejarano, R.; Verdú-Soriano, J.; Rodríguez-Suárez, C. A.; Effectiveness of "Escape Room" Educational Technology in Nurses' Education: A Systematic Review. *Nursing Reports* **2024**, 14, 1193. [Crossref]
- Johnstone, A. H.; Macro- and micro-chemistry. *School Science Review* **1982**, 64, 377.
- Mahaffy, P.; Moving Chemistry Education into 3D-A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. Union Carbide Award for Chemical Education. *Journal of Chemical Education* **2006**, 83, 49. [Link]
- Dietrich, N.; Escape classroom: the leblanc process-an educational "Escape game". *Journal of Chemical Education* **2018**, 95, 996. [Crossref]
- Avargil, S.; Schwartz, G.; Zemel, Y.; Educational Escape Room: Break Dalton's Code and Escape! *Journal of Chemical Education* **2021**, 98, 2313. [Crossref]
- Veldkamp, A.; Van de Grint, L.; Knippels, M-C.; Van Joolingen, W.; Escape education: A systematic review on escape rooms in education. *Educational Research Review* **2020**, 31, 100364, 1. [Crossref]
- Naumoska, A.; Dimeski, H.; Stojanovska, M.; Using the Escape Room game-based approach in chemistry teaching: Scientific paper. *Journal of the Serbian Chemical Society* **2023**, 88, 563. [Crossref]
- Lathwesen, C.; Belova, N.; Acid Base Global - An Escape Room to Teach the Chemistry of Acids and Bases. *Action Research and Innovation in Science Education* **2024**, 6, 1. [Crossref]
- Gargiulo, M. V.; Napolitano, F.; Amoroso, O.; Russo, R.; Capuano, P.; A didactic experience for educating the youngest generations about seismic risk using an escape room. *Frontiers in Communication* **2024**, 9, 1. [Crossref]
- Cleophas, M. G.; Bedin, E.; Professores, vamos escapar da sala? usando o escape room como ferramenta didática no ensino de química. *Revista Exitus* **2023**, 13, e023005. [Crossref]
- Deus, T. C.; Prado, F. S.; A análise da aplicação de um Escape Room no ensino de química: as funções do jogo pedagógico em foco. *Ensino & Multidisciplinaridade* **2023**, 9, 1. [Link]
- Rocha, A. C.; Bagatelo, A. H.; Souza, R. T. M. P.; Kasseboehmer, A. C.; Debates sobre o uso de um escape room de divulgação científica no Ensino de Química. *Química Nova na Escola* **2024**, 46, 346. [Crossref]
- Van Houwelingen, A.; Ter Heedge, F.; Boschloo, W.; Piek, L.;

- Wubbels, T.; Development and evaluation of an escape room based on general pharmacokinetics: Students' perceptions of its motivational climate. *Pharmacology Research and Perspectives* **2023**, *11*, e01155. [Crossref]
26. Antunes, M.; Binsfeld, A. A.; Fetter, D.; Hahn, J. V.; Petry, S. T.; Elaboração, utilização e avaliação de um escape room como estratégia pedagógica na formação de professores. *Química Nova na Escola* **2024**, *46*, 455. [Crossref]
27. Pscheidt, C. F. D. M.; Cleophas, M. G.; Escape room pedagógico como uma estratégia de aprendizagem para o desenvolvimento das competências educacionais e desencadeamento do flow. *Revista Eletrônica Ludus Scientiae* **2021**, *5*, 259. [Link]
28. Palomares, I. F.; Soler, A. H.; Meneu, M. J. B.; Formación STEM en el grado de maestro: Una experiencia docente. @tic. *Revista d'Innovació Educativa* **2018**, *20*, 35. [Crossref]
29. 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* **2024**, *14*, e1273. [Crossref]
30. Lathwesen, C.; Belova, N.; Escape Rooms in STEM Teaching and Learning—Prospective Field or Declining Trend? A Literature Review. *Education Sciences* **2021**, *11*, 308. [Crossref]
31. González-Gómez, D.; Jeong, J. S.; Cañada-Cañada, F.; Enhancing Science Self-Efficacy and Attitudes of Pre-Service Teachers (PST) through a Flipped Classroom Learning Environment. *Interactive Learning Environments* **2022**, *30*, 896. [Crossref]
32. Johnstone, A. H.; Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning* **1991**, *7*, 75. [Crossref]
33. Johnstone, A. H.; Teaching of chemistry-logical or psychological? *Chemistry Education Research and Practice* **2000**, *1*, 9. [Crossref]
34. Sweller, J.; *Em The Psychology of Learning and Motivation: Cognition in Education*; Mestre, J. P.; Ross, B. H., eds.; Elsevier Academic Press: Amsterdam, 2011, cap. 2. [Crossref]
35. Kenneally, C. D.; Bentley, B. A.; Cognitive Load Approach to Molecular Geometries: Augmented Reality Technology and Visuospatial Abilities in Chemistry. *Education Sciences* **2024**, *14*, 1036. [Crossref]
36. Rodemer, M.; Karch, J.; Bernholt, S.; Pupil dilation as cognitive load measure in instructional videos on complex chemical representations. *Frontiers in Education* **2023**, *8*, 1. [Crossref]
37. Sweller, J.; Cognitive load theory and individual differences. *Learning and Individual Differences* **2024**, *110*, 1. [Crossref]
38. Cowan, N.; Working Memory Underpins Cognitive Development, Learning, and Education. *Educational Psychology Review* **2014**, *26*, 197. [Link]
39. Ouwehand, K.; Lespiau, F.; Tricot, A.; Paas, F.; Cognitive Load Theory: Emerging Trends and Innovations. *Education Sciences* **2025**, *15*, 458. [Crossref]
40. Sweller, J.; Van Merriënboer, J. J. G.; Paas, F.; Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review* **2019**, *31*, 261. [Crossref]
41. Kala, N.; Ayas, A.; Effect of instructional design based on cognitive load theory on students' performances and the indicators of element interactivity. *Journal of Turkish Science Education* **2023**, *20*, 468. [Link]
42. Pollock, E.; Chandler, P.; Sweller, J.; Assimilating complex information. *Learning and Instruction* **2002**, *12*, 61. [Crossref]
43. Rodemer, M.; Lindner, M. A.; Eckhard, J.; Graulich, N.; Bernholt, S.; Dynamic signals in instructional videos support students to navigate through complex representations: an eye-tracking study. *Applied Cognitive Psychology* **2022**, *36*, 852. [Link]
44. Taber, K. S.; Revisiting the chemistry triplet: Drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice* **2013**, *14*, 156. [Crossref]
45. Kirschner, P. A.; Sweller, J.; Clark, R. E.; Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist* **2006**, *41*, 75. [Crossref]
46. Cleophas, M. G.; Cavalcanti, E. L. D.; Soares, M. H. F. B.; Afinal de contas, é jogo educativo, didático ou pedagógico no ensino de química/ciências? Colocando os pingos nos "is". In: Cleophas, M. G.; Soares, M. H. F. B. (Eds.). *Didatização lúdica no ensino de química/ciências*. Livraria da Física: São Paulo, 2018.
47. Chen, O.; Paas, F.; Sweller, J.; A Cognitive Load Theory Approach to Defining and Measuring Task Complexity Through Element Interactivity. *Educational Psychology Review* **2023**, *35*, 63. [Crossref]
48. Damiani, M. F.; Rochefort, R. S.; Castro, R. F.; Dariz, M. R.; Pinheiro, S. N.; Discutindo pesquisas do tipo intervenção pedagógica. *Cadernos de Educação* **2013**, *45*, 57. [Link]
49. Flick, U.; *Introdução à pesquisa qualitativa*. 3a. ed. Artmed: Porto Alegre, 2009.
50. Campos, C. J. G.; Saidel, M. G. B.; Amostragem em investigações qualitativas: conceitos e aplicações ao campo da saúde. *Revista Pesquisa Qualitativa* **2022**, *10*, 404. [Crossref]
51. Cleophas, M. G.; Cunha, M. B.; Contribuições da fotografia científica observatória (FoCO) para o ensino por investigação. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia* **2020**, *13*, 349. [Link]
52. Obaid, M.; Dünser, A.; Moltchanova, E.; Cummings, D.; Wagner, J.; Bartneck, C.; Em *Human-Computer Interaction – INTERACT 2015*; Abascal, J.; Barbosa, S.; Fetter, M.; Gross, T.; Palanque, P.; Winckler, M.; eds. Springer: Cham, **2015**. [Link]
53. Peacock, S.; Cowan, J.; Promoting sense of belonging in online learning communities of inquiry in accredited courses: Importance to learners of having a sense of belonging. *Online Learning Journal* **2019**, *23*, 67. [Crossref]

54. Edwards, C.; Hardie, L.; Fostering a sense of belonging through online qualification events. *Distance Education* **2024**, *45*, 210. [Crossref]
55. Thorpe, K.; Reflective learning journals: From concept to practice. *Reflective Practice* **2004**, *5*, 327. [Crossref]
56. Glennie, L.; Undergraduate nursing students' perceptions of debriefing sessions in simulation-based learning: a systematic review. *Teaching and Learning in Nursing* **2025**, *20*, e907. [Crossref]
57. Braun, V.; Clarke, V.; Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology* **2006**, *3*, 77. [Crossref]
58. Liebenberg, L.; Jamal, A.; Ikeda, J.; Extending youth voices in a participatory thematic analysis approach. *International Journal of Qualitative Methods* **2020**, *19*, 1. [Crossref]
59. Nicholson, S.; The State of Escape: Escape Room Design and Facilities. Disponível em: <<https://scottnicholson.com/pubs/stateofescape.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2025.
60. Estudante, A.; Dietrich, N.; Using augmented reality to stimulate students and diffuse escape game activities to larger audiences. *Journal of Chemical Education* **2020**, *97*, 1368. [Crossref]
61. Baptista, G.; Oliveira, T.; Gamification and serious games: a literature meta-analysis and integrative model. *Computers in Human Behavior* **2019**, *92*, 306. [Crossref]
62. Gordillo, A.; López-Fernández, D.; López-Pernas, S.; Quemada, J.; Evaluating an educational escape room conducted remotely for teaching software engineering. *IEEE Access* **2020**, *8*, 225032. [Link]
63. Bandura, A.; *Self-efficacy: The Exercise of Control*. Freeman: New York, 1997.
64. Sidekerskienė, T.; Damaševičius, R.; Out-of-the-box learning: Digital escape rooms as a metaphor for breaking down barriers in STEM education. *Sustainability* **2023**, *15*, 7393. [Crossref]
65. Van Nooijen, C. C. A.; Koning, B. B.; Bramer, W. M.; Isahakyan, A.; Asoodar, M.; Kok, E.; Van Merriënboer, J. J. G.; Paas, F.; A cognitive load theory approach to understanding expert scaffolding of visual problem-solving tasks: A scoping review. *Educational Psychology Review* **2024**, *36*, 12. [Crossref]
66. Martin, A. J.; Evans, P.; Load reduction instruction: Exploring a framework that assesses explicit instruction through to independent learning. *Teaching and Teacher Education* **2018**, *73*, 203. [Crossref]
67. Eysenck, M. W.; *Anxiety: The Cognitive Perspective*. Psychology Press: London, 1992. [Crossref]
68. Feldon, D. F.; Callan, G.; Juth, S.; Jeong, S.; Cognitive Load as Motivational Cost. *Educational Psychology Review* **2019**, *31*, 319. [Crossref]
69. Johnson, D. W.; Johnson, R. T.; An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning. *Educational Researcher* **2009**, *38*, 365. [Crossref]
70. Kirschner, P. A.; Sweller, J.; Kirschner, F.; From cognitive load theory to collaborative cognitive load theory. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning* **2018**, *13*, 213. [Crossref]
71. Du, X.; Chen, C.; Lin, H.; The impact of working memory capacity on collaborative learning in elementary school students. *Frontiers in Psychology* **2022**, *13*, 1. [Link]
72. Kalyuga, S.; Enhancing transfer by learning generalized domain knowledge structures. *European Journal of Psychology of Education* **2013**, *28*, 1477. [Link]
73. Alzubi, T.; Fernández, R.; Flores, J.; Duran, M.; Cotos, J. M.; Improving the working memory during early childhood education through the use of an interactive gesture game-based learning approach. *IEEE Access* **2018**, *6*, 53998. [Link]
74. Rushdan, E. E.; Mohamed, M. A. E.; Abdelhalim, G. E.; El-Ashry, A. M.; Ali, H. F. M.; Effect of an escape room as a gamification evaluation tool on clinical reasoning and teamwork skills among nursing students: A quasi-experimental study. *Nurse Education in Practice* **2025**, *82*, 104188. [Crossref]
75. Borrego, C.; Fernández, C.; Blanes, I.; Robles, S.; Room escape at class: Escape games activities to facilitate the motivation and learning in computer science. *Journal of Technology and Science Education* **2017**, *7*, 162. [Crossref]
76. López-Pernas, S.; Saqr, M.; Gordillo, A.; Barra, E.; A learning analytics perspective on educational escape rooms. *Interactive Learning Environments* **2022**, *31*, 6509. [Crossref]
77. Maertens, R.; Roozenbeek, J.; Basol, M.; Van der Linden, S.; Long-term effectiveness of inoculation against misinformation: Three longitudinal experiments. *Journal of Experimental Psychology: Applied* **2021**, *27*, 1. [Crossref]
78. Buchner, J.; Rüter, M.; Kerres, M.; Learning with a digital escape room game: before or after instruction? *Research and Practice in Technology Enhanced Learning* **2022**, *17*, 1. [Crossref]