



DA AÇÃO NO SIMULADOR À ESCRITA DA EQUAÇÃO: ENSINO GAMIFICADO DO BALANCEAMENTO QUÍMICO

*FROM SIMULATOR ACTION TO EQUATION WRITING: GAMIFIED TEACHING OF
CHEMICAL BALANCING*

Nayara Stanski Tkaczyk

Graduada em Química pelo Instituto Federal Catarinense (IFC). Mestranda em Química no Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) na Universidade Federal do Paraná (UFPR) e professora da Secretaria de Educação do Estado do Paraná.
nayarastanski@gmail.com

João Vitor Piva Brugnerotto

Graduando em Química Licenciatura pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Bolsista no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) na Linha de Educação Química.
joapivabrugnerotto@gmail.com

Everton Bedin

Doutor em Educação em Ciências: química da vida e saúde pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor adjunto na Universidade Federal do Paraná (UFPR) e docente permanente nos Programas de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática (PPGECM) e Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI).
bedin.everton@gmail.com

Resumo

Este artigo analisa as contribuições de uma atividade gamificada, apoiada pelo simulador PhET Colorado, para o ensino do balanceamento de equações químicas no 1º ano do Ensino Médio. A pesquisa, de natureza aplicada, abordagem mista e caráter exploratório-descritivo, foi desenvolvida por meio de uma intervenção pedagógica estruturada nos Três Momentos Pedagógicos, envolvendo 55 estudantes de duas turmas. A constituição dos dados ocorreu por meio de um questionário elaborado no Google Forms, contendo questões fechadas, itens em escala Likert e perguntas abertas. As questões objetivas foram analisadas por frequências, enquanto as respostas discursivas foram examinadas à luz da análise interpretativo-indutiva. Os resultados indicam elevada aceitação da proposta, com destaque para o aumento do engajamento, clareza das regras e valorização do trabalho em equipe. Os estudantes relataram melhor compreensão da conservação dos átomos e da equivalência entre reagentes e produtos, especialmente devido à visualização proporcionada pelo simulador. Contudo, persistem dificuldades no ajuste de coeficientes, na contagem de átomos e na linguagem formal do balanceamento, além da influência da pressão do tempo durante o jogo. Conclui-se que a combinação entre gamificação e PhET torna o aprendizado mais dinâmico e acessível, promovendo avanços graduais, ainda que dependentes de maior tempo de consolidação conceitual.

Palavras-chave: Balanceamento químico; Tecnologias digitais; Metodologias ativas.

Abstract

This article analyzes the contributions of a gamified activity, supported by the PhET Colorado simulator, to the teaching of chemical equation balancing in the first year of Brazilian high school. The study, applied in nature, with a mixed-methods and exploratory–descriptive approach, was developed through a pedagogical intervention structured according to the Three Pedagogical Moments, involving 55 students from two classes. Data were collected using a Google Forms questionnaire containing closed questions, Likert-scale items, and open-ended questions. Closed questions were examined through frequency analysis, while open responses were analyzed using an interpretative–inductive approach. The results indicate high acceptance of the proposal, with emphasis on increased engagement, clarity of rules, and appreciation of teamwork. Students reported improved understanding of atom conservation and equivalence between reactants and products, especially due to the visualization afforded by the simulator. However, difficulties persist in adjusting coefficients, counting atoms, and using formal chemical language, as well as managing time pressure during the game. It is concluded that combining gamification with PhET makes learning more dynamic and accessible, promoting gradual advances that nevertheless require greater time for conceptual consolidation.

Keywords: Chemical balancing; Digital technologies; Active methodologies.

1 INTRODUÇÃO

A química constitui-se como uma ciência intrinsecamente vinculada ao cotidiano humano, permeando desde ações rotineiras até fenômenos complexos que ocorrem sem que o sujeito os perceba conscientemente (Guimarães; Santos, 2025). Apesar dessa onipresença, o ensino de química na educação básica ainda se caracteriza, em grande parte, por práticas transmissivas centradas na memorização de fórmulas, procedimentos e nomenclaturas (Santos; Maldaner, 2010), cenário que dialoga com discussões recentes sobre os desafios estruturais enfrentados pelas disciplinas da área de Ciências da Natureza no ensino médio brasileiro (Stallbaum; Leite, 2024), contribuindo para a percepção de que a área é abstrata, distante e pouco aplicável à vida dos estudantes (Silva; Peixoto, 2025). Esse descompasso entre o potencial formativo da disciplina e a experiência concreta dos alunos produz desmotivação, dificuldades conceituais persistentes e uma fragilização da construção de sentidos sobre os fenômenos estudados.

Nesse cenário, cresce a demanda por práticas pedagógicas que tornem o conhecimento químico mais inteligível, significativo e conectado às realidades dos estudantes. Estratégias como a gamificação, ao integrar elementos dos jogos, como desafios, recompensas e feedbacks, têm se mostrado promissoras por fomentar engajamento, participação ativa e curiosidade, sobretudo quando estruturadas com intencionalidade pedagógica e alinhadas aos objetivos de aprendizagem (Pereira; Leite, 2022). Esse movimento acompanha também as percepções positivas dos adolescentes sobre tecnologias digitais, que reconhecem estes recursos como facilitadores da aprendizagem (Grossi *et al.*, 2018). Além disso, Giassi e Ramos (2016) defendem que as tecnologias, quando integradas ao ensino de ciências com intencionalidade pedagógica, favorecem processos de interação, visualização e construção do conhecimento científico.

Paralelamente, as Metodologias Ativas (MA) consolidam-se como abordagens que deslocam o foco do ensino para o estudante, promovendo investigação, tomada de decisão e reflexão, que são atributos fundamentais para uma aprendizagem mais crítica e autônoma (Filatro; Cavalcanti, 2018). No ensino de química, o uso de MA tem se mostrado capaz de transformar conteúdos historicamente trabalhados de forma expositiva, como o balanceamento de equações químicas, em experiências interativas que favorecem o pensamento científico (Silva; Peixoto, 2025). Nesse contexto, Abreu e Bedin (2025) destacam que a integração entre conhecimentos tecnológicos, pedagógicos e do conteúdo potencializa práticas mais interativas e contextualizadas no ensino de química, favorecendo maior aproximação entre conceitos abstratos e experiências de aprendizagem mediadas por tecnologias digitais.

A contextualização, por sua vez, figura como uma dimensão essencial para superar a fragmentação conceitual, ao aproximar conteúdos escolares de situações reais e culturalmente significativas para os alunos (Sousa; Ibiapina, 2023). Quando articulada à experimentação, amplia ainda mais seu potencial formativo ao permitir que estudantes formulem hipóteses, construam argumentos e compreendam a ciência como prática investigativa, não apenas como conjunto de verdades estáticas (Félix *et al.*, 2025).

Essas demandas tornam-se especialmente evidentes no ensino do balanceamento de equações químicas, um conteúdo reconhecido como fonte de obstáculos conceituais e desmotivação quando abordado de maneira mecânica e descontextualizada (Mendes; Santana; Junior, 2017). Aproximar esse conteúdo do cotidiano, por meio de Aprendizagem Contextualizada (AC), contribui para tornar os conceitos mais acessíveis e significativos,

favorecendo a compreensão das relações entre fenômenos macroscópicos e representações simbólicas (Vieira; Morais; Alves, 2025).

Considerando as limitações de abordagens tradicionais, as lacunas conceituais persistentes na aprendizagem de estequiometria e o potencial das MA em reconfigurar o papel do estudante, coloca-se a seguinte questão investigativa: Como a integração entre gamificação e simulação digital pode favorecer a articulação entre níveis macroscópico, simbólico e submicroscópico no ensino do balanceamento de equações químicas? Diante desse questionamento, este artigo tem como objetivo analisar as contribuições de uma atividade gamificada, apoiada pelo simulador PhET Colorado, para o ensino do balanceamento de equações químicas no 1º ano do Ensino Médio, buscando compreender de que modo a combinação entre gamificação e tecnologias digitais pode tornar o estudo desse conteúdo mais dinâmico, interativo e próximo da realidade escolar dos estudantes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os estudos de Talanquer (2011) evidenciam que as dificuldades dos estudantes em estequiometria são persistentes e vão além de falhas de treino procedimental. Essas dificuldades derivam, principalmente, de lacunas conceituais e representacionais, especialmente da pouca articulação entre os níveis macroscópico, microscópico e simbólico. Esta fragilidade compromete a compreensão da conservação da massa, a interpretação de fórmulas e o uso adequado de proporções, além de gerar confusões recorrentes entre mol, quantidade de substância, massa molar e Constante de Avogadro. Soma-se a isso o manejo matemático insuficiente, que intensifica erros em problemas quantitativos.

A estequiometria fundamenta-se na Lei da Conservação das Massas, segundo a qual a matéria não pode ser criada nem destruída, apenas transformada; portanto, os elementos devem manter a mesma quantidade antes e depois da reação (Lima; Goes; Fernandez, 2025). Nessa direção, Kuman (2001) reforça que a Lei de Lavoisier sustenta o balanceamento de equações químicas, uma vez que, em sistema fechado, a soma das massas dos reagentes deve ser igual à dos produtos. Talanquer (2011) acrescenta que o balanceamento é central na formação química por envolver compreensão da conservação, registro adequado das fórmulas e domínio de relações volumétricas e estequiométricas.

A literatura também destaca que a aprendizagem em química requer coordenação consciente entre diferentes níveis de representação (macroscópico, submicroscópico e simbólico), apoiada no uso articulado de modelos e imagens (Kozma; Russell, 2005; Valanides; Nicolaidou; Eilks, 2003). Entretanto, tanto estudantes quanto docentes enfrentam dificuldades em estabelecer essas conexões de forma explícita, ora privilegiando um nível em detrimento dos demais, ora apresentando registros sem mediação adequada (Gabel, 1999; Eilks; Hofstein, 2013); essa dificuldade revela a necessidade de uma mediação que trate os níveis macroscópico e submicroscópico como dimensões dialéticas do conhecimento químico, e não como esferas isoladas.

Nesse cenário, a gamificação surge como estratégia capaz de ressignificar a experiência do estudante ao introduzir desafios, metas e feedbacks que estimulam curiosidade, engajamento e participação ativa. Quando planejada de forma intencional e alinhada aos objetivos de aprendizagem, pode aproximar os conteúdos químicos da realidade escolar e tornar as atividades mais dinâmicas e atrativas (Malta; Ferreira; Lemos, 2025). Assim, superar as dificuldades conceituais requer reorganizar a mediação pedagógica, tornando explícitas as

relações entre os níveis de representação e promovendo práticas que incentivem argumentação, justificativa de procedimentos e compreensão conceitual, conforme defende Talanquer (2011).

Nesse viés, estratégias didáticas que integrem representações e promovam a articulação dialética entre fenômeno e modelo tornam-se essenciais para enfrentar tais obstáculos. Afinal, a aprendizagem de química exige que os estudantes compreendam e interpretem adequadamente sua linguagem simbólica. O uso de equações formadas por letras e números, por exemplo, pode se tornar desafiador quando não se estabelecem vínculos entre o conteúdo escolar e situações concretas, o que contribui para a percepção de que a disciplina é abstrata e distante do cotidiano (Lima; Goes; Fernandez, 2025). Mortimer e Miranda (1995) destacam que muitos alunos têm dificuldade em identificar, nas reações químicas, o que efetivamente se transforma e o que permanece inalterado, limitando-se às mudanças observáveis e negligenciando o nível atômico e molecular.

Diante dessas limitações, cresce a necessidade de reorganizar práticas pedagógicas, especialmente porque abordagens tradicionais – marcadas pela memorização e repetição – dificultam a compreensão conceitual (Vieira; Moraes; Alves, 2025). Assim, docentes têm buscado articular conceitos químicos a situações significativas do cotidiano, evidenciando sua relevância prática e fortalecendo o engajamento dos estudantes (Lima; Goes; Fernandez, 2025). Nesse movimento, as MA configuram-se como alternativas potentes, pois favorecem a participação crítica e autônoma do estudante e promovem a reflexão docente sobre sua mediação (Bedin; Del Pino, 2025).

Afinal, as MA caracterizam-se por um conjunto de abordagens pedagógicas que deslocam o estudante da posição de receptor de informações para a de protagonista do processo de aprendizagem, envolvendo-o na resolução de problemas, na investigação, na tomada de decisões e na construção colaborativa do conhecimento. Nessa perspectiva, o professor deixa de atuar exclusivamente como transmissor de conteúdos e assume o papel de mediador, organizando situações de aprendizagem que favoreçam a autonomia, o pensamento crítico e a participação discente (Moran, 2013; Filatro; Cavalcanti, 2018).

Ao deslocar o foco para o estudante, as MA estimulam habilidades como trabalho em equipe, resolução de problemas e pensamento crítico (Camargo; Bedin, 2024). Elas também constituem, conforme Moran (2013), pontos de partida para processos mais profundos de reflexão e reelaboração das práticas pedagógicas. Entretanto, sua efetividade depende de planejamento atento às necessidades da turma, ao conteúdo e ao contexto dos alunos. Nessa linha, Félix e Lima (2021) ressaltam que MA fortalecem o aprender cooperativo e a construção colaborativa do conhecimento. Nessa direção, Koentopp e Leonel (2025) ressaltam que o uso de tecnologias digitais e metodologias diferenciadas exige mediação pedagógica planejada e contextualizada, especialmente para evitar que os recursos tecnológicos assumam apenas função instrumental ou expositiva.

A gamificação, entendida como uma modalidade de MA, requer intencionalidade: deve estar alinhada aos objetivos de aprendizagem e integrada ao currículo para evitar usos superficiais. Quando bem estruturada, incorpora elementos como desafios, regras, níveis e feedbacks, potencializando a motivação, o engajamento e a colaboração entre os estudantes (Silva *et al.*, 2025; Silva; Sales, 2017). Para Pereira e Leite (2022), a gamificação representa uma estratégia viável para superar obstáculos do processo de ensino e despertar o interesse dos alunos, sobretudo quando articulada à aprendizagem contextualizada, permitindo relacionar a química a situações significativas e favorecer a justificativa de escolhas e a aplicação de conceitos.

Assim, planejar atividades com propósito claro, mediação docente que estimule questionamentos e conexões conceituais, e uso adequado de recursos experimentais e digitais é fundamental para tornar visíveis relações teóricas e promover aprendizagens duradouras. A avaliação formativa, por sua vez, deve valorizar o raciocínio, a colaboração e a transferência do conhecimento para diferentes contextos (Lima; Goes; Fernandez, 2025).

3 METODOLOGIA

Neste artigo, optou-se por uma pesquisa aplicada, de abordagem mista, com objetivo exploratório-descritivo e procedimento de intervenção pedagógica (Máximo; Marinho, 2021). A vertente qualitativa busca compreender fatos, opiniões e ideias e interpretar os dados constituídos, enquanto a dimensão quantitativa permite organizar indicadores e padrões observáveis. O caráter exploratório-descritivo visa compreender, descrever e analisar as contribuições da proposta didática para os processos de ensino e aprendizagem, sem interferência direta sobre os resultados, produzindo conhecimento prático voltado ao aprimoramento de estratégias pedagógicas e oferecendo uma caracterização detalhada dos efeitos no contexto escolar (Prodanov; Freitas, 2013).

A intervenção, aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Paraná (UFPR), sob o CAAE nº 75725823.4.0000.0214 e parecer nº 6.651.029, foi organizada segundo os Três Momentos Pedagógicos propostos por Delizoicov e Angotti (1994), compreendidos como a Problemática Inicial, a Organização do Conhecimento e a Aplicação do Conhecimento. Essa organização didático-pedagógica visa promover uma aprendizagem contextualizada, iniciando pela problematização de situações da realidade dos estudantes, passando pela sistematização dos conhecimentos científicos e culminando na aplicação dos conceitos construídos em novos contextos.

Na Problemática Inicial e na Organização do Conhecimento, foram desenvolvidas duas aulas de 50 minutos cada. Na Aplicação do Conhecimento, também foram realizadas duas aulas de 50 minutos, com a atividade gamificada em grupos, três rodadas e apresentação pública das soluções. Ao final, houve premiação para os 1º, 2º e 3º lugares e, como reconhecimento à participação, todos os grupos receberam uma recompensa.

Nesse escopo, a adoção de uma metodologia ativa em formato gamificado, estruturada a partir do conteúdo de balanceamento químico, caracteriza uma intervenção pedagógica. Nessa modalidade investigativa, o pesquisador atua como agente de transformação, planejando a sequência, acompanhando o desenvolvimento da proposta em sala, registrando evidências ao longo das etapas e analisando os dados gerados para avaliar a contribuição da intervenção na aprendizagem e no engajamento dos estudantes.

A atividade gamificada foi implementada em uma escola pública de São Mateus do Sul (PR), com duas turmas do 1º ano do Ensino Médio, uma pertencente ao curso Técnico em Farmácia e a outra ao Novo Ensino Médio (NEM). Ao todo, 55 estudantes participaram da pesquisa, compondo a amostra por adesão voluntária e presença em sala no dia da aplicação.

Para a constituição dos dados, aplicou-se, após a atividade gamificada, um questionário composto por questões fechadas, itens em escala Likert e questões abertas, elaborado no *Google Forms* aos estudantes do Ensino Médio. A construção do instrumento seguiu as orientações de Vieira (2009). As questões foram identificadas de Q1 a Q19, sendo que os dados das Q1 a Q15 foram analisados de forma frequencial, tendo em vista que eram questões fechadas, enquanto Q16 a Q19 foram analisadas conforme o método interpretativo-indutivo de Marconi e Lakatos

(2017). As alternativas das questões estão disponibilizadas abaixo por meio de um *QR Code*, conforme descreve a Figura 1:

Figura 1: QR Code para acesso ao formulário



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 A APLICAÇÃO DA ATIVIDADE: INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA

No primeiro momento, problematização inicial, os estudantes foram convidados a explicitar o que entendiam por balanceamento. Realizou-se um brainstorming e, a partir das falas, conduziu-se uma discussão ancorada na metáfora da receita de bolo: questionou-se o que ocorreria ao alterar proporções de ingredientes (acrescentar farinha, reduzir leite, retirar ou adicionar itens), explorando a ideia de ajuste de quantidades para manter o “resultado” esperado. Essa problematização preparou o terreno conceitual para tratar de conservação e proporcionalidade nas reações.

No segundo momento, organização do conhecimento, desenvolveu-se a aula de balanceamento de equações. Apresentou-se o procedimento por tentativa, explicitando decisões passo a passo, e empregou-se o simulador PhET Colorado para tornar visíveis os efeitos de aumentar ou diminuir coeficientes estequiométricos, com contagem de átomos e verificação imediata do equilíbrio. Complementarmente, utilizaram-se representações por “bolinhas” para aproximar o plano submicroscópico. Ao final, solicitou-se uma breve pesquisa sobre balanceamento e sua importância, com o objetivo de consolidar referências e ampliar repertório.

No terceiro momento, aplicação do conhecimento, realizou-se a atividade gamificada. A turma foi organizada em cinco grupos e jogou três rodadas, cada uma com cartas de um nível de dificuldade: verde na primeira, amarelo na segunda e vermelho na terceira. Em cada rodada, cada grupo recebeu uma carta e trabalhou para balancear a reação; ao término, um integrante por equipe foi ao quadro para apresentar a solução sorteada.

A sequência em três momentos favoreceu a contextualização ao articular diferentes estratégias didáticas de forma progressiva. A metáfora da “receita de bolo” mobilizou saberes do cotidiano para introduzir os conceitos de proporcionalidade e conservação da matéria; o simulador PhET e as representações por “bolinhas” tornaram visíveis a contagem de átomos e o ajuste dos coeficientes estequiométricos por meio de feedback imediato; e a atividade

gamificada promoveu a explicitação pública das soluções, a cooperação entre os grupos e a discussão dos procedimentos adotados. Ao relacionar experiências familiares às representações visuais e, posteriormente, à escrita das equações químicas, a proposta reduziu a abstração do conteúdo, favoreceu o engajamento dos estudantes e criou condições para a compreensão conceitual e a transição para a linguagem simbólica do balanceamento (Rehfeldt; Leite; Lopes, 2025). Essa articulação entre problematização, organização e aplicação do conhecimento aproxima-se do que Oliveira et al. (2025) identificam como elemento central das metodologias ativas: a integração intencional entre teoria e prática.

Sob a perspectiva da Educação Química, essa organização didática também favoreceu a articulação entre diferentes níveis de representação do conhecimento químico. A problematização inicial aproximou os estudantes do nível macroscópico por meio de situações familiares; o simulador e as representações por partículas contribuíram para a compreensão do nível submicroscópico; e a resolução das equações exigiu a formalização simbólica dos fenômenos observados. Essa progressão dialoga com Talanquer (2011), ao evidenciar que as dificuldades em estequiometria decorrem, em grande parte, da dificuldade de coordenar essas representações simultaneamente. De modo semelhante, Kozma e Russell (2005) defendem que o desenvolvimento da competência representacional depende da capacidade de transitar entre fenômenos, modelos explicativos e linguagem simbólica, processo que a sequência proposta buscou favorecer desde a problematização até a resolução das atividades.

Nessa perspectiva, a contribuição da intervenção não reside apenas na utilização da gamificação ou do simulador como recursos motivacionais, mas na forma como esses elementos foram pedagogicamente articulados para promover a aprendizagem. Tal organização converge com o estado do conhecimento sistematizado por Camargo e Bedin (2024), segundo o qual a combinação intencional de metodologias ativas potencializa o ensino de química quando existe coerência entre objetivos, estratégias e avaliação. De maneira semelhante, Abreu e Bedin (2025) destacam que a integração entre recursos digitais, mediação pedagógica e conhecimentos específicos do conteúdo amplia as possibilidades de construção conceitual. Assim, a sequência proposta caracteriza-se menos como uma sobreposição de estratégias e mais como um desenho didático voltado à superação das dificuldades representacionais inerentes ao balanceamento químico, preparando o estudante para compreender o fenômeno antes de formalizá-lo simbolicamente.

4.2 AVALIAÇÃO DA INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA: PERCEPÇÕES DISCENTES

Após o término da intervenção pedagógica, 55 estudantes (A1–A55) responderam, via *Classroom*, ao questionário referente às assertivas da Figura 1. Do total, 30 eram do curso Técnico em Farmácia e 25 do NEM. Quanto à faixa etária, predominou 15 anos (42 estudantes), seguida de 16 anos (10 estudantes), 14 anos (2 estudantes) e 17 anos (1 estudante). Para organizar a discussão dos dados, delimitou-se as questões em três blocos: fechadas, escala Likert e abertas.

4.2.1 Questões Fechadas (Q1 a Q10)

Na Q3 (Você já teve contato com atividades gamificadas em outras disciplinas?), sobre contato prévio com atividades gamificadas, observou-se maioria com experiência anterior: 41 estudantes responderam “sim”, enquanto 14 estudantes marcaram “não”. Do ponto de vista interpretativo, esse padrão sugere alta familiaridade prévia com elementos de jogo, o que tende

a facilitar a aceitação da intervenção e reduzir a resistência inicial. Entretanto, a fração que declarou “não” pode refletir menos ausência real de experiências e mais dificuldade em reconhecer práticas gamificadas quando elas não são nomeadas como tal. Isso aponta para um viés de classificação: sem exemplos concretos no enunciado, parte dos estudantes pode subestimar seu repertório.

Na questão Q4 (Como você avalia seu interesse geral por química?), que investigou o interesse por química, prevaleceu “alto” com 36 estudantes, seguido de “baixo” com 15 estudantes, “muito alto” com 3 estudantes e “muito baixo” com 1 estudante. Na questão Q5 (Antes da atividade, como você classificaria seu conhecimento sobre balanceamento químico?) referente ao conhecimento autodeclarado em balanceamento químico, a distribuição mostrou perfil majoritariamente básico: “básico” com 41 estudantes, “intermediário” com 8 estudantes, “avançado” 4 estudantes e “nenhum” com 2 estudantes. Os resultados das questões Q4 e Q5 compõem um cenário promissor, porém desafiador: há interesse declarado majoritariamente alto por química (65,5%), mas o conhecimento autopercebido sobre balanceamento concentra-se no nível básico (74,5%), indicando um espaço claro para conversão de motivação em competência procedimental.

Quanto aos efeitos do PhET e da atividade gamificada, os resultados indicam contribuição positiva, sobretudo gradual. Na Q6 (O simulador ajudou a visualizar a conservação dos átomos durante a reação?), sobre visualizar a conservação dos átomos, houve empate entre “sim” e “parcialmente”, ambos com 25 estudantes cada, enquanto “não” somou 5 estudantes. Na Q7 (A interação com o simulador facilitou a escolha dos coeficientes corretos?), a respeito da escolha de coeficientes, “sim” alcançou 30 estudantes, “parcialmente” 23 estudantes e “não” 2 estudantes. Na Q8 (A atividade ajudou você a entender o conceito de conservação da massa nas reações químicas?), sobre compreender a conservação das massas, “parcialmente” foi a resposta mais frequente com 27 estudantes, seguida de “sim” com 24 estudantes e “não” com 4 estudantes. Na Q9 (Após usar o PhET, como você avalia sua compreensão sobre o balanceamento das reações?), ao avaliar a compreensão após o uso do PhET, 33 estudantes relataram que “melhorou um pouco” 16 estudantes “manteve-se igual”, 5 estudantes “melhorou muito” e 1 estudante “piorou”. Por fim, na Q10 (Após participar da atividade gamificada, como avalia sua compreensão do conteúdo?), após a atividade gamificada, 28 estudantes indicaram “melhorou um pouco”, 18 estudantes “manteve-se igual”, 8 estudantes “melhorou muito” e 1 estudante “piorou”.

Os dados sugerem que o objetivo foi parcialmente atendido: a combinação do simulador com a gamificação tornou o estudo mais dinâmico e interativo, conforme evidenciado nas questões Q6–Q8 com prevalência de “sim” / “parcialmente”, e houve percepção de melhora na compreensão após o uso do simulador (Q9) e após a atividade gamificada (Q10). Esse ganho é coerente com o alto interesse prévio em química descrito na Q4 e contrasta com a base autopercebida ainda frágil em balanceamento evidenciada na Q5, indicando que a proposta conseguiu converter motivação em avanços graduais.

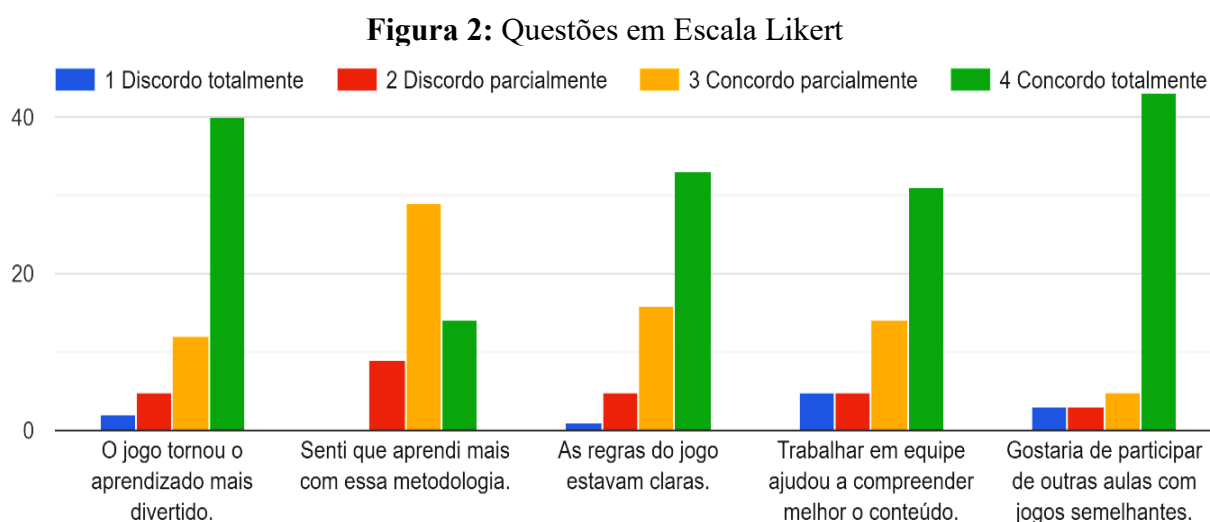
Ao mesmo tempo, a presença de respostas “manteve-se igual” nas questões Q9 e Q10, associada à predominância da alternativa “parcialmente” nas questões Q6 e Q8, evidencia que os avanços na compreensão conceitual ainda não se converteram plenamente em domínio da representação simbólica. Esse resultado aponta para a necessidade de fortalecer a articulação entre a visualização dos fenômenos no simulador e a escrita simbólica das equações químicas. Em síntese, a intervenção cumpriu o papel de engajar e destravar a compreensão inicial; a próxima iteração deve focar na consolidação conceitual para transformar “melhorou um pouco” em domínio estável. Esses resultados dialogam com Lima e Silva Romeu (2025), ao

evidenciarem que experiências de caráter experimental ou exploratório, ainda que mediadas por recursos digitais, favorecem a compreensão conceitual quando acompanhadas de tempo adequado para reflexão e sistematização.

Ainda, esse resultado sugere que a visualização proporcionada pelo simulador favoreceu inicialmente a compreensão conceitual, mas não garantiu, por si só, a apropriação da linguagem simbólica da química. Essa distinção já havia sido discutida por Mortimer e Miranda (1995), ao evidenciarem que muitos estudantes compreendem transformações químicas em nível fenomenológico, mas encontram dificuldades para representá-las adequadamente por meio das equações químicas. Logo, assim como nas aulas experimentais, o uso do simulador mostrou-se potente para iniciar a compreensão do fenômeno, mas insuficiente, isoladamente, para garantir domínio procedimental do balanceamento químico.

4.2.2 Escala Likert (Q11 a Q15)

No bloco de questões Q11 a Q15, utilizou-se uma escala Likert de 4 pontos, sendo 1 discordo totalmente e 4 concordo totalmente, a qual foi utilizada para investigar as percepções dos estudantes sobre a atividade gamificada. Foram contemplados os seguintes itens: Q11 (O jogo tornou o aprendizado mais divertido), Q12 (Senti que aprendi mais com essa metodologia), Q13 (As regras do jogo estavam claras), Q14 (Trabalhar em equipe ajudou a compreender melhor o conteúdo) e Q15 (Gostaria de participar de outras aulas com jogos semelhantes). Na Figura 2, tem-se as questões em escala Likert (Q11 a Q15):



Fonte: autores, 2026.

A distribuição das respostas na escala Likert indica alto engajamento com a proposta. As assertivas “o jogo tornou o aprendizado mais divertido” e “gostaria de participar de outras aulas com jogos semelhantes” concentram concordância elevada, com discordâncias residuais. Isso sugere aceitação ampla da metodologia e boa disposição para novas aplicações. “As regras do jogo estavam claras” reúne principalmente concordâncias, indicando instruções compreensíveis e fluxo de atividade estável. Já a assertiva “trabalhar em equipe ajudou a compreender” foi bem avaliada, embora tenha apresentado alguma variação, sinalizando benefícios da colaboração com diferenças de participação entre grupos. Quanto ao aprendizado percebido, a assertiva “senti que aprendi mais com essa metodologia” tende a concentrar-se na categoria concordo parcialmente.

Esse padrão de elevada concordância quanto ao caráter divertido, à clareza das regras e ao desejo de participar de novas aulas gamificadas corrobora os achados de Azevedo *et al.* (2025), que apontam que MA, quando estruturadas com intencionalidade pedagógica, ampliam o engajamento discente e favorecem a consolidação conceitual. No presente estudo, este engajamento aparece como condição necessária, ainda que não suficiente, para a consolidação conceitual, aspecto evidenciado pela predominância de percepções de avanço parcial.

A análise das respostas obtidas sugere boa aderência à proposta e disposição para continuidade, com percepção de aulas mais atrativas e de que o trabalho em equipe favoreceu a compreensão. As regras foram consideradas claras, indicando adequação do desenho da atividade. Em contrapartida, a autopercepção de aprendizagem aparece majoritariamente como avanço parcial, apontando a necessidade de reforçar a transposição do engajamento para ganhos conceituais mais consistentes. Em relação ao objetivo do artigo, os dados corroboram que a combinação de gamificação com o simulador tornou o estudo mais dinâmico, interativo e próximo da realidade escolar.

Essa predominância de percepções de avanço parcial dialoga com os achados de Bedin e Del Pino (2025), ao indicarem que MA, quando analisadas sob uma perspectiva estatística-descritiva, frequentemente revelam ganhos progressivos e não imediatos. Segundo os autores, as metodologias demandam continuidade, retomadas conceituais e intencionalidade didática para que o engajamento inicial se converta em aprendizagem conceitual consolidada. Embora o elevado engajamento seja condição importante para a aprendizagem, os dados indicam que ele, isoladamente, não assegura a consolidação conceitual. A predominância da resposta "melhorou um pouco" sugere que motivação e compreensão não constituem processos equivalentes, reforçando que a mediação docente continua desempenhando papel decisivo na transformação da experiência lúdica em conhecimento científico estruturado.

4.2.3 Questões Abertas (Q16 a Q19)

Para cada questão dissertativa, utilizaram-se as orientações metodológicas de Marconi e Lakatos (2017) como base para a construção dos eixos analíticos, garantindo rigor, sistematização e coerência no tratamento dos dados. Esses eixos foram posteriormente endossados por excertos representativos das respostas dos estudantes, de modo a evidenciar as nuances interpretativas e reforçar a ancoragem empírica das análises. A seguir, apresenta-se cada questão com suas respectivas derivações, acompanhada das discussões que emergiram do conjunto das respostas.

No que se refere a Q16 (*Que parte você achou mais difícil do jogo das cartas?*), foram delineados três eixos analíticos: (i) Ajuste de coeficientes e contagem de átomos, que concentra dificuldades operacionais de equalização dos elementos e cálculo de coeficientes; (ii) Compreensão do processo de balanceamento, refletindo incertezas sobre a sequência procedimental e os critérios de verificação por elemento; e (iii) Pressão de tempo e competição, abrangendo percepções de cronômetro, urgência e dinâmica competitiva que incidem sobre a execução das etapas. Estes eixos analíticos sintetizam padrões recorrentes do corpus e orientam ajustes didático-metodológicos.

Em relação ao eixo “Ajuste de coeficientes e contagem de átomos”, percebe-se que a maioria dos respondentes considerou difícil balancear as reações químicas e que exige certo grau de atenção para compreender a quantidade dos átomos. O A43 enfatiza isso “A parte mais difícil foi combinar corretamente os coeficientes para deixar a equação balanceada, porque

exigia atenção aos números de átomos de cada elemento” e o A40 complementa “A parte que achei um pouco difícil foi fazer a combinação correta para a equação ficar balanceada [...]”.

No eixo “Compreensão do processo de balanceamento”, a grande parcela dos respondentes relata sobre como iniciar o balanceamento e ir deixando os átomos iguais tanto nos produtos e reagentes. O A8 relata que “a parte mais difícil foi conseguir combinar os números certos para balancear as reações, porque as vezes eu confundia a quantidade de átomos” e o A32 “Entender como igualava os números”. Diante disso, as dificuldades evidenciadas nesta questão podem estar associadas não apenas à interpretação do procedimento de balanceamento e ao raciocínio matemático dos estudantes, mas também à necessidade de coordenar simultaneamente diferentes formas de representação do conhecimento químico. Embora os estudantes demonstrem compreender a ideia de igualdade entre reagentes e produtos, ainda encontram dificuldades para traduzir essa compreensão em procedimentos sistemáticos de ajuste dos coeficientes.

Esse resultado corrobora a perspectiva de Gabel (1999), segundo a qual grande parte das dificuldades em química decorre da complexidade de articular os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico durante a resolução de problemas. Na mesma direção, Talanquer (2011) argumenta que a aprendizagem da estequiometria exige a coordenação dessas representações, processo que nem sempre ocorre de forma espontânea, demandando mediação docente e atividades que favoreçam essa integração. Esses desafios também se evidenciam nas dificuldades dos estudantes em transitar entre os níveis macro, submicro e representacional, conforme analisam Rosa Galeski e Bedin (2024).

Já o eixo analítico “Pressão de tempo e competição”, os estudantes se sentiram pressionados em tentar terminar o balanceamento por primeiro, o que pode ter causado uma certa pressão em terminar em primeiro; logo, o A33 afirma que “Quando foi pego os papéis com as reações, pois ficamos nervosas até entender como iríamos balancear” e o A22 complementa que a “[...] parte em tivemos pouco tempo para balancear”. Logo, pode-se entender que quando os alunos se sentiram sob pressão, eles não conseguiram raciocinar adequadamente para iniciar o balanceamento.

Esse efeito ambivalente da gamificação também é relatado por Metz *et al.* (2025), que destacam que elementos competitivos podem tanto estimular o engajamento quanto intensificar a ansiedade cognitiva, especialmente em conteúdos que exigem raciocínio sequencial e atenção aos detalhes, como o balanceamento químico. No presente estudo, a pressão do tempo emergiu como fator que tensiona o potencial formativo do jogo, indicando a necessidade de ajustes no ritmo e nas regras.

As respostas mostram que o mais difícil no jogo foi acertar coeficientes e contar átomos, entender o passo a passo do balanceamento e lidar com a pressão da competição. Isso dialoga com o objetivo do artigo: a gamificação com o simulador e aproxima o conteúdo e engaja, mas precisa de ajustes para ser compreendido, por exemplo, lembrar a sequência (contar–ajustar–recontar–checar), dar tempo mínimo para pensar e usar o simulador para conferir, antes da corrida por pontos. Assim, a atividade segue contextualizada e dinâmica, sem perder clareza no “como fazer”.

Consoante a Q17 (*De que forma o jogo contribuiu para o seu aprendizado (explique com suas palavras)?*), os eixos analíticos foram: (i) Conceitos e cálculos, reunindo contagem de átomos, ajuste de coeficientes e operações do procedimento, (ii) Engajamento lúdico, relativo à motivação decorrente do caráter divertido/ativo da proposta, (iii) Fixação do conteúdo, referente à percepção de consolidação e clarificação geral, (iv) Aprendizagem colaborativa,

evidenciando o papel das explicações de colegas e do trabalho em grupo; e, (v) Visualização do conceito, indicando que suportes visuais/simuladores e demonstrações facilitaram a compreensão do balanceamento. Esses eixos organizam o corpus e orientam intervenções didáticas focalizadas.

Em relação ao eixo “Conceitos e cálculos”, algumas respostas apontam que os alunos possuem dificuldades no procedimento do balanceamento, como elenca o A16 “Deu para entender melhor como se fazia as contas [...]” e o A23 corrobora “Ele ajudou de certa forma eu compreender o cálculo e como resolve”. Entende-se que os alunos compreenderam a ideia de igualdade é reconhecida, porém, existem lacunas na sequência de contar, ajustar, recontar e checar.

Já o eixo “Engajamento lúdico” revela que a forma de gamificação elevou a motivação como corrobora o A33 “Foi uma forma divertida de aprender, assim ficou um pouco mais fácil de entender” e o A39 “[...] ajudou a entender melhor o conteúdo, porque tornou o aprendizado mais divertido e fácil de visualizar”. Os resultados indicam que a inserção da gamificação em uma proposta contextualizada favoreceu o engajamento dos estudantes, potencializando sua participação no processo de aprendizagem; logo, a ludicidade funcionou como porta de entrada para o conteúdo, sustentando atenção e persistência

Quanto ao eixo “Fixação do conteúdo”, os estudantes relatam melhora de compreensão e maior clareza, ainda que muitas vezes incremental, conforme A18 “Melhorou o conteúdo e ficou mais fácil para compreender” e o A20 “me ajudou a entender melhor o conteúdo, ficou mais fácil e prático”. Diante disso, compreende-se que a gamificação contribuiu para melhorar a compreensão de parte do conteúdo, conforme A49 relata “Me ajudou a entender melhor, mas ainda pela pressa fiquei com dúvidas em algumas partes”.

No que tange ao eixo “Aprendizagem colaborativa”, aparecem frequentemente referências a explicações dos colegas e apoio do grupo para “destravar” cálculos e decisões de coeficientes, conforme relatos dos estudantes “Pois conseguimos trabalhar em equipe, e sendo um desafio tornou o conteúdo mais interessante, assim colocando bastante foco nas questões e conseguindo entender melhor” (A3); “Contribuiu para entender melhor o conteúdo, as vezes nossos colegas nos explicando fica mais claro como se faz corretamente” (A7); “Foi muito bom, aprendi melhor com os amigos e consegui compreender melhor” (A10) e “Tenho dificuldade em raciocinar sozinho, e com essa atividade eu consegui aprender pelo menos um pouco, pois tinha mais cabeças para pensar” (A34).

As falas indicam que o trabalho em equipe foi decisivo para a aprendizagem: os estudantes relatam maior clareza quando colegas explicam o procedimento, maior foco e interesse por conta do desafio compartilhado e ganho de confiança ao “pensar com mais cabeças”. Para quem tem dificuldade de raciocinar sozinho, a colaboração funcionou como apoio cognitivo e emocional, convertendo engajamento em compreensão mais estável.

Por fim, o eixo “Visualização do conceito” indica que os alunos compreenderam a ideia de igualdade entre reagentes e produtos. Assim relatam os estudantes: “O jogo ajudou a entender melhor o balanceamento das reações, porque tornou o conteúdo mais prático e divertido. Jogando, consegui visualizar como os reagentes e produtos precisam ter a mesma quantidade de átomos.” (A43) e “O jogo me ajudou a entender melhor as reações químicas de um jeito mais divertido, foi mais fácil ver como equilibrar as equações” (A38).

As respostas destacam que o caráter prático e lúdico do jogo funcionou como ponte entre o conceito e o procedimento: ao visualizar que reagentes e produtos devem apresentar a mesma quantidade de átomos, os estudantes reportam maior clareza sobre “como equilibrar as

equações”. Em síntese, a ludicidade reduz a abstração, tornando o princípio de conservação mais acessível e favorecendo a compreensão operativa do balanceamento.

Esse resultado sugere que o simulador exerceu papel para além da motivação, funcionando como mediador da construção de representações químicas. Ao permitir que os estudantes visualizassem simultaneamente partículas, quantidades e relações entre reagentes e produtos, o recurso favoreceu a coordenação entre diferentes formas de representação do conhecimento químico. Segundo Kozma e Russell (2005), o desenvolvimento da competência representacional depende justamente da capacidade de estabelecer relações entre fenômenos observáveis, modelos explicativos e linguagem simbólica. Nesse sentido, a visualização proporcionada pelo PhET parece ter contribuído para aproximar a compreensão conceitual da formalização das equações químicas, ainda que esse processo tenha ocorrido de forma gradual.

De modo geral, os excertos convergem para a percepção de que o jogo favoreceu a superação das dificuldades iniciais relacionadas ao procedimento de balanceamento, especialmente quanto à contagem de átomos e ao ajuste de coeficientes. O componente lúdico contribuiu para manter a atenção e o interesse dos estudantes, enquanto o trabalho colaborativo possibilitou a troca de estratégias, a explicação dos procedimentos e a verificação conjunta dos resultados. Além disso, o apoio visual proporcionado pelo simulador tornou mais concreta a compreensão da equivalência entre reagentes e produtos, favorecendo a articulação entre representações macroscópicas, submicroscópicas e simbólicas. Essa articulação aproxima-se da competência representacional descrita por Kozma e Russell (2005), segundo a qual a aprendizagem em química depende da capacidade de transitar entre diferentes representações de um mesmo fenômeno. Embora os estudantes ainda demonstrem dificuldades na utilização da linguagem científica formal, as respostas indicam avanços graduais na construção desse processo representacional.

Em relação a Q18 (*Ao utilizar o PhET, o que significava deixar a balança nivelada e como você fazia isso?*) à luz do método interpretativo-indutivo, obteve-se dois eixos analíticos que condensam os sentidos mais recorrentes: (i) Igualdade entre os lados, que traduz a noção de equilíbrio dos termos da reação; e, (ii) Ajuste de coeficientes, referente às operações de contagem de átomos, escolha e correção de multiplicadores na equação. Esses eixos estruturam a interpretação do corpus e orientam a leitura didática do fenômeno observado.

Em relação ao eixo “Igualdade entre os lados”, as respostas indicam que os alunos tomaram a equivalência como critério de correção, mencionando “deixar igual”, “igualando os lados” e “mesma quantia dos dois lados”. Conforme elucidam os alunos “Deixa todos os elementos com o mesmo número, a gente tinha que ir balanceando na ordem até chegar em resultados iguais” (A3); “Significa deixar a mesma quantia dos dois lados para ficar equilibrada, colocando um número que daria certo para equilibrar do outro lado” (A33) e “Significava que os dois lados estavam iguais eu mudava os números das moléculas até a balança ficar no meio” (A38).

O eixo evidencia que os estudantes adotam a equivalência como critério de correção do balanceamento: manter “o mesmo número” nos dois lados, “a mesma quantia” e ajustar valores até a balança “ficar no meio”. Esses enunciados indicam a internalização de uma regra prática simples: manter os reagentes e produtos em equilíbrio que dialogam diretamente com a conservação da massa e da quantidade de átomos. O simulador favoreceu esse reconhecimento ao tornar visível o efeito de cada ajuste: ao igualar “pesos/bolinhas”, os alunos compreenderam que a estabilidade da balança corresponde à igualdade de átomos entre reagentes e produtos, facilitando a transição do critério visual para a escrita correta dos coeficientes na equação (Oliveira; Galvão; Souza, 2024).

Embora os estudantes demonstrem compreender a ideia de equilíbrio entre reagentes e produtos, suas respostas ainda evidenciam uma compreensão predominantemente operacional do balanceamento. Expressões como "deixar igual", "ficar no meio" ou "mesma quantia" indicam que o conceito é inicialmente construído a partir de critérios perceptivos e cotidianos, antes da apropriação da linguagem científica própria da química. Esse movimento aproxima-se das discussões de Mortimer e Miranda (1995), que destacam que muitos estudantes compreendem inicialmente as transformações químicas a partir das mudanças observáveis, apresentando dificuldades para relacioná-las às explicações em nível atômico e às representações simbólicas das reações químicas.

Já o eixo analítico “Ajuste de coeficientes” revela que os estudantes descrevem ações como “mudar o multiplicador”, “somar/multiplicar números”, “calcular por lado” e “recontar”, o que aponta compreensão do objetivo de igualdade, conforme respostas dos estudantes “Significa que a reação estava balanceada. Eu fazia isso ajustando os elementos até os dois lados ficarem com a mesma quantidade de átomos” (A8) e “Deixar a balança nivelada significava que a massa dos reagentes era igual à massa dos produtos, mostrando que a reação estava balanceada. Eu fazia isso ajustando os coeficientes da equação até que os dois lados ficassem equilibrados” (A39).

Analisando as respostas dos estudantes, percebe-se que, embora compreendam a necessidade de manter reagentes e produtos em equilíbrio, eles ainda recorrem predominantemente à linguagem cotidiana para explicar o fenômeno, empregando expressões como "deixar igual" ou "mesmo peso" em lugar de conceitos como conservação da massa, coeficientes estequiométricos ou quantidade de átomos. Essa diferença entre compreender o fenômeno e dominar a linguagem científica reforça o que Mortimer e Miranda (1995) discutem sobre a construção gradual da linguagem química, na qual os estudantes inicialmente interpretam os fenômenos a partir de significados cotidianos antes de se apropriarem das representações científicas formais. Embora essas respostas corroborem a ideia de igualdade entre os átomos, os enunciados sugerem que a ideia de conservar a mesma quantidade de átomos em reagentes e produtos foi internalizada como regra prática para validar o balanceamento. Como apontam A8 e A39, há a noção de que a reação “está balanceada” quando os dois lados apresentam a mesma quantidade de átomos, ainda que a nomeação formal nem sempre apareça.

As respostas mostram que “deixar a balança nivelada” foi entendido como ter a mesma quantidade de átomos nos dois lados da equação. Para isso, os alunos ajustavam coeficientes ou adicionavam/removiam “pesos/bolinhas” no PhET até o ponteiro ficar no centro. O simulador tornou o efeito de cada ajuste visível e imediato, facilitando a checagem do equilíbrio. Em termos práticos, isso aproximou o balanceamento do fazer concreto em sala, deixando a aprendizagem mais dinâmica e interativa.

Por fim, quanto a Q19 (*Qual foi a relação que você percebeu entre equilibrar a balança no simulador e balancear a equação química?*), obteve-se três eixos analíticos: (i) conservação da massa ou átomos, deixando explícito a correspondência quantitativa entre reagentes e produtos; (ii) equivalência dos lados, traduzindo o equilíbrio; e, (iii) mediação visual no simulador, em que manipulações como peso e bolinhas funcionam como analogia do balanceamento.

Em relação ao eixo “Equivalência dos lados”, as respostas indicam que os estudantes tomaram a igualdade entre termos como critério de correção conforme A1 “Que igualar a balança era igual balancear a equação” e A8 “percebi que equilibrar a balança é como balancear a equação, porque nos dois lados iguais, sem faltar nem sobra nada”. Os depoimentos corroboram a interpretação de que a “equivalência dos lados” foi adotada como critério central

de correção. Expressões como “igualar a balança”, “deixar igual” e “sem faltar nem sobrar” indicam que os estudantes internalizaram a igualdade entre reagentes e produtos como regra prática para validar o balanceamento. Esse padrão revela apropriação do princípio de manter quantidades correspondentes nos dois lados da reação e uso dessa verificação como passo final do procedimento. Além disso, o simulador parece ter reforçado esse entendimento ao oferecer um indicador visual imediato de equilíbrio, favorecendo a transferência da noção de “ficar no meio” para a escrita correta dos coeficientes.

Quanto ao eixo “Conservação da massa ou átomos”, aparecem menções explícitas à correspondência quantitativa entre reagentes e produtos, como o A9, A39 e A43, respectivamente, “A balança deve ter ambos os dois lados do mesmo peso para ficar nivelada, e a equação química precisa ter o mesmo número de átomos de cada elemento nos reagentes e nos produtos”, “Percebi que equilibrar a balança no simulador é o mesmo que balancear a equação química, pois nos dois casos é preciso igualar as quantidades dos dois lados para manter a conservação da massa” e “As duas coisas são parecidas, porque nas duas tem que deixar tudo igual. Quando a balança fica equilibrada, é tipo quando a equação tá balanceada, com a mesma quantidade de átomos”.

Embora os relatos indiquem um entendimento inicial de “deixar igual”, isso não assegura que o princípio de conservação tenha sido plenamente compreendido. Muitos estudantes usam “peso”, “igual” e “equilíbrio” como sinônimos, sem distinguir a massa de contagem de átomos. O aprendizado aparece mais operacional e ancorado no efeito visual do simulador, por isso é preciso retomar a ideia de conservar a quantidade de átomos com exemplos simples, nomeando corretamente os termos e articulando o que se observa na balança à escrita dos coeficientes na equação.

Por fim, no eixo “Mediação visual no simulador”, os estudantes A7, A16 e A34 apontam que, respectivamente, “Que precisa ter os números iguais, basicamente os dois são iguais, porém um tem desenho para facilitar”, “Que no simulador acaba sendo um pouco mais fácil, pois dá para entender de uma maneira melhor” e “A relação percebida é que o simulador de balança serve como uma analogia visual para o conceito de balancear uma equação química”. excertos sugerem que o recurso tornou o balanceamento mais compreensível ao transformar a igualdade entre lados em algo visível e manipulável. Os estudantes reconhecem o simulador como analogia direta do conceito (A34), indicando que a representação visual favoreceu a compreensão inicial das relações entre reagentes e produtos. Nessa perspectiva, o PhET atuou como mediador da construção de representações químicas, permitindo que os estudantes estabelecessem relações entre o fenômeno observado, os modelos representados pelas partículas e a escrita simbólica das equações. Essa interpretação aproxima-se da noção de competência representacional proposta por Kozma e Russell (2005), segundo a qual a aprendizagem em química depende da capacidade de coordenar diferentes formas de representação de um mesmo fenômeno. Assim, embora as respostas ainda revelem limitações na utilização da linguagem científica formal, os dados indicam avanços na articulação entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico discutidos por Talanquer (2011), favorecendo uma compreensão mais integrada do balanceamento químico.

4.2.4 Questões Abertas X Escala Likert

A leitura cruzada entre as questões abertas e a escala Likert revela coerência significativa entre as percepções discentes e as evidências qualitativas. Os itens de engajamento e interesse - como “o jogo tornou o aprendizado mais divertido” e “gostaria de participar de outras aulas

com jogos semelhantes” - convergem com os relatos de Q17, nos quais os estudantes destacam a ludicidade como fator de motivação, maior atenção e disposição para participar. De modo semelhante, a concordância quanto à clareza das regras dialoga com as descrições de Q17 e Q16, que indicam compreensão geral da dinâmica, ainda que persistam inseguranças quanto ao procedimento de balanceamento. Essa tendência entre engajamento, colaboração e compreensão inicial reforça a perspectiva apresentada por Azevedo *et al.* (2025), segundo a qual MA inspiram aprendizagens mais significativas quando promovem participação, diálogo e reflexão coletiva. Contudo, assim como observado neste estudo, os autores ressaltam que essas metodologias demandam estratégias complementares de sistematização conceitual para assegurar a consolidação dos conhecimentos científicos.

Ao mesmo tempo, a autopercepção de aprendizagem aparece predominantemente como avanço parcial na Likert, e esse padrão encontra explicação nas respostas de Q16, que apontam dificuldades em ajustar coeficientes, contar átomos e seguir a sequência operatória (contar–ajustar–recontar–checar), além da influência da pressão do tempo. Esta configuração reforça a compreensão defendida por Bedin e Del Pino (2025), de que MA operam como processos formativos progressivos, cujos efeitos se consolidam à medida que são retomados, aprofundados e sistematizados ao longo do tempo pedagógico. As respostas de Q18 e Q19 reforçam que a ideia de equivalência dos lados e de conservação da massa/átomos foi amplamente compreendida graças ao apoio visual do simulador; entretanto, o uso de termos genéricos como “igual” ou “peso”, em vez da nomenclatura formal, explica por que esse avanço aparece como incremento moderado, e não como domínio pleno.

Os dados da Likert sobre trabalho em equipe também se articulam diretamente com os relatos de Q17, que enfatizam a colaboração como suporte para a compreensão, especialmente na verificação de resultados e na tomada de decisões sobre coeficientes. Esse apoio coletivo contribuiu para amenizar as dificuldades relatadas em Q16 e transformar a visualização do simulador (Q18–Q19) em passos operatórios mais claros, ainda que de forma gradual. De forma geral, a convergência entre achados quantitativos e qualitativos indica que a intervenção produziu avanços reais, porém graduais: houve forte engajamento e compreensão inicial da ideia de conservação, mas ainda há necessidade de reforço da linguagem formal, do tempo de processamento e da sistematização do algoritmo de balanceamento para alcançar domínio conceitual mais estável. Esse padrão de avanços graduais requer tempo pedagógico, estratégias de sistematização e mediação docente qualificada para produzir domínio conceitual mais estável (Silva *et al.*, 2025; Camargo; Bedin, 2024).

Sob essa perspectiva, os resultados sugerem que a gamificação e o simulador não atuaram apenas como recursos motivacionais, mas como instrumentos mediadores da aprendizagem, favorecendo a construção progressiva das representações químicas necessárias ao balanceamento. Entretanto, as respostas também evidenciam que a compreensão conceitual precede o domínio da linguagem científica formal, indicando que a transição entre compreender o fenômeno e representá-lo simbolicamente depende de processos contínuos de mediação pedagógica. Assim, os achados reforçam que tecnologias digitais e metodologias ativas potencializam a aprendizagem quando articuladas a intervenções docentes intencionais que promovam a integração entre diferentes formas de representação do conhecimento químico, conforme discutem Talanquer (2011) e Kozma e Russell (2005).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sequência gamificada aqui descrita mostrou-se pertinente para o ensino do balanceamento químico no 1º ano do Ensino Médio. Os dados quantitativos e qualitativos convergem para um quadro de alta aceitação da proposta, com relatos de aulas mais atrativas, regras compreensíveis e colaboração produtiva entre pares. Ao mesmo tempo, a autopercepção de aprendizagem apareceu majoritariamente como avanço parcial, sugerindo que o engajamento se converte em ganho conceitual de forma gradual, demandando esforços direcionados.

As respostas abertas indicam que os alunos consolidaram, sobretudo, a noção de “equivalência entre os lados” e de “conservação” como critério de correção; porém, persistem lacunas de linguagem formal (nomes e termos) e de fluência nos passos de contar-ajustar-recontar-verificar. Esses achados sustentam que a contextualização, quando articulada a um ambiente de feedback imediato (simulador) e a desafios lúdicos (gamificação), reduz a abstração típica do tema e favorece a passagem do olhar para a escrita da equação. Para ampliar o efeito formativo, recomenda-se inserir checkpoints conceituais durante as rodadas, garantir tempo mínimo de raciocínio antes da competição, explicitar a nomenclatura envolvida (átomo, coeficiente, conservação) e retomar, de modo cumulativo, a sequência de procedimentos com exemplos curtos e progressivos.

Os resultados também sugerem que parte das dificuldades observadas no balanceamento químico está associada ao raciocínio quantitativo envolvido na contagem de átomos, na comparação de quantidades e no ajuste de coeficientes. Embora essa dimensão não tenha constituído o foco desta investigação, as evidências indicam a pertinência de estudos futuros que explorem de forma mais específica a articulação entre conhecimentos matemáticos e a aprendizagem do balanceamento químico e da estequiometria, buscando compreender como o desenvolvimento do raciocínio quantitativo pode favorecer a consolidação dos conceitos químicos.

Como limites, destacam-se o recorte amostral (55 estudantes de duas turmas), a curta duração da intervenção e a ênfase em percepções autorrelatadas. Pesquisas futuras podem incluir pré e pós-teste com itens de desempenho, acompanhamento longitudinal, análise de produções escritas e comparação com turmas controle. Ademais, a evidência produzida indica que a estratégia - ensino contextualizado apoiado pelo PhET e gamificação - torna o estudo do balanceamento mais dinâmico, interativo e próximo da realidade escolar, ao mesmo tempo em que aponta caminhos concretos para consolidar a compreensão conceitual e a linguagem própria da química. Conclui-se que a gamificação associada ao simulador favorece o engajamento e compreensão inicial do balanceamento, mas requer ampliação do tempo de processamento, retomadas da linguagem formal e atividades de consolidação para transformar “melhorou um pouco” em domínio estável.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Fundação Araucária - Fundação de Amparo à Pesquisa Científica e Tecnológica do Estado do Paraná (FA).

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. E. S.; BEDIN, E. A integração das bases do TPACK no ensino de química: compreensões de professores em formação inicial. **Revista Dynamis**, v. 31, n. Publicação contínua, p. e12540-e12540, 2025. <https://doi.org/10.7867/1982-48662025e12540>
- AZEVEDO, A. G. B. et al. Metodologias ativas na educação: estratégias para o engajamento e aprendizagem significativa. **ARACÊ**, v. 7, n. 6, p. 31214–31226, 2025. DOI: <https://doi.org/10.56238/arev7n6-124>.
- BEDIN, E.; DEL PINO, J. C. Metodologia Dicumba: conjecturas e potencialidades no ensino de Química: uma análise estatística-descritiva. **Educação & Realidade**, v. 50, e122063, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-6236122063vs01>.
- CAMARGO, R. R.; BEDIN, E. Estado do conhecimento sobre a fusão de metodologias ativas no ensino de Química. **Revista Areté | Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, v. 22, n. 36, e24035, 2024. DOI: <https://doi.org/10.59666/Arete.1984-7505.v22.n36.2317>.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Cortez, 1994.
- EILKS, I.; HOFSTEIN, A. **Teaching chemistry—a studybook: A practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers**. Springer Science & Business Media, 2013.
- FÉLIX, M. E. O.; LIMA, B. T. S. As metodologias ativas na construção do conhecimento científico: utilização do método JigSaw (quebra-cabeças) e mapa conceitual para o ensino de funções oxigenadas. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 1, p. 139–158, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3895/rbect.v14n1.11995>.
- FÉLIX, N. L. C. et al. Experimentação e contextualização no ensino de Química com a temática palma forrageira. **Educación Química**, v. 36, n. 2, p. 14–26, 2025. DOI: <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2025.2.881451>.
- FILATRO, A.; CAVALCANTI, C. C. **Metodologias inovativas na educação presencial, a distância e corporativa**. São Paulo: Saraiva Educação, 2018.
- GABEL, D. Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. **Journal of Chemical education**, v. 76, n. 4, p. 548, 1999.
- GIASSI, M. G.; RAMOS, M. C. Tecnologias da informação e comunicação – TIC no ensino-aprendizagem de ciências. **Revista Dynamis**, v. 22, n. 2, p. 52-62, 2016. <https://doi.org/10.7867/1982-4866.2016v22n2p52-62>
- GROSSI, M. G. R.; MURTA, F. C.; SILVA, M. D. A aplicabilidade das ferramentas digitais da web 2.0 no processo de ensino e aprendizagem. **Revista Contexto & Educação**, v. 33, n. 104, p. 34–59, 2018. DOI: <https://doi.org/10.21527/2179-1309.2018.104.34-59>.
- GUIMARÃES, L. M.; SANTOS, D. M. Uso de jogos didáticos no ensino de Química. **Revista de Produtos Educacionais e Pesquisas em Ensino**, v. 9, n. 1, p. 111–126, 2025.
- KOENTOPP, A. C.; LEONEL, A. A. Atividades pedagógicas de docentes formadores da área curricular ciências da natureza durante o ensino remoto emergencial. **Revista Dynamis**, v. 31, n. Publicação contínua, p. e12372-e12372, 2025. <https://doi.org/10.7867/1982-48662025e12372>

- KOZMA, R.; RUSSELL, J. Students becoming chemists: developing representational competence. In: GILBERT, J. (ed.). **Visualization in science education**. Dordrecht: Springer, 2005. p. 121–145.
- KUMAN, D. D. Computer applications in balancing chemical equations. **Journal of Science Education and Technology**, v. 10, n. 4, p. 347–350, 2001.
- LIMA, J. O. G. de; SILVA ROMEU, F. J. da. As aulas experimentais no ensino da Química. **ARACÊ**, v. 7, n. 4, p. 18797–18833, 2025. DOI: <https://doi.org/10.56238/arev7n4-181>.
- LIMA, P. N.; GOES, L. F.; FERNANDEZ, C. Jogando com fórmulas e reações: ludicidade no ensino de Química para explorar a representação molecular no balanceamento químico. **Química Nova na Escola**, v. XX, n. YY, p. 1–11, 2025. DOI: <https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160451>.
- MALTA, R. S. C.; FERREIRA, Y. K. E.; LEMOS, I. N. Jogos didáticos: a importância da utilização da gamificação no ensino de Química. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, v. 17, n. 6, e8646, 2025. DOI: <https://doi.org/10.55905/cuadv17n6-070>.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- MÁXIMO, V.; MARINHO, R. A. C. Intervenção pedagógica no processo de ensino e aprendizagem. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 8208–8218, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-558>.
- MENDES, A.; SANTANA, G.; JÚNIOR, E. P. O uso do software PhET como ferramenta para o ensino de balanceamento de reação química. **Revista Areté | Revista Amazônica de Ensino de Ciências**, v. 8, n. 16, p. 52–60, 2017.
- METZ, S. K. G. et al. A gamificação no estudo de Química orgânica para graduandos em farmácia: um relato de experiência. **ARACÊ**, v. 7, n. 4, p. 18777–18784, 2025. DOI: <https://doi.org/10.56238/arev7n4-179>.
- MORAN, J. **Tablets e ultrabooks na educação**. Campinas: Papirus, 2013.
- MORTIMER, E. F.; MIRANDA, L. C. Transformações: concepções de estudantes sobre reações químicas. **Química Nova na Escola**, v. 2, n. 2, p. 23-26, 1995.
- OLIVEIRA, E. do N. S. de; GALVÃO, L. M.; SOUZA, A. C. R. de. O uso do aplicativo padlet como recurso pedagógico digital para mediar a aprendizagem no ensino tecnológico. **Revista Contexto & Educação**, v. 39, n. 121, e13754, 2024. DOI: <https://doi.org/10.21527/2179-1309.2024.121.13754>.
- OLIVEIRA, G. P.; MALOSSO, M. G.; SOARES, R. M. J.; BARBOSA, R. A. F. **Metodologias ativas no ensino de Química: experiência e aprendizagem significativa**. Aurum Editora, 2025.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª Ed. Editora Feevale, 2013.
- PEREIRA, J. A.; LEITE, B. S. Análise da percepção de estudantes de Ensino Fundamental quanto a uma atividade gamificada. In: Trilha De Educação – artigos completos - Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGAMES), 21, 2022, Natal/RN. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2022. p. 592-601. https://doi.org/10.5753/sbgames_estendido.2022.225378.

REHFELDT, M. J. H.; LEITE, D. P.; LOPES, M. I. Prática pedagógica com a metodologia TEACCH: desenvolvimento de jogos digitais por pessoas com transtorno do espectro autista com uso do Scratch. *Revista Contexto & Educação*, v. 40, n. 122, e15535, 2025. DOI: <https://doi.org/10.21527/2179-1309.2025.122.15535>.

ROSA GALESKI, H. da; BEDIN, E. Oficina pedagógica formativa e a transição pelos níveis macroscópico, simbólico e microscópico. *Revista Intersaberes*, e24tl4003, 2024. DOI: <https://doi.org/10.22169/revint.v19.e24tl4003>.

SANTOS, W. L. P. dos; MALDANER, O. A. **Ensino de química em foco**. Ijuí: Unijuí, 2010. 368 p.

SILVA, E. de S. da; CASTOLDI, L. L.; BASSO, C. V.; PASA, B. C. Formação continuada de professores: um olhar para as tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). *Revista Contexto & Educação*, v. 40, n. 122, e16679, 2025. DOI: <https://doi.org/10.21527/2179-1309.2025.122.16679>.

SILVA, M. O.; PEIXOTO, S. C. Química no cotidiano: produção de histórias em quadrinhos para contextualizar o ensino de Química. *Disciplinarum Scientia | Naturais e Tecnológicas*, v. 26, n. 3, p. 41–52, 2025. DOI: <https://doi.org/10.37779/nt.v26i3.5466>.

SILVA, J. B.; SALES, G. L. Gamificação aplicada no ensino de Física: um estudo de caso no ensino de óptica geométrica. *Acta Scientiae*, v. 19, n. 5, p. 782–798, 2017.

SOUSA, J. A.; IBIAPINA, B. R. S. Contextualização no ensino de química e suas influências para a formação da cidadania. *Revista Ifes Ciência*, v. 9, n. 1, p. 01-14, 2023. <https://doi.org/10.36524/ric.v9i1.1510>

STALLBAUM, I. D.; LEITE, F. de A. O ensino médio no Brasil e o enfoque dado às disciplinas da área de ciências da natureza: uma revisão bibliográfica. *Revista Dynamis*, v. 30, n. Publicação contínua, p. e11426-e11426, 2024. <https://doi.org/10.7867/1982-48662024e11426>

TALANQUER, V. Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, v. 33, n. 2, p. 179-195, 2011. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>

VALANIDES, N.; NICOLAIDOU, A.; EILKS, I. Twelfth grade students’ understanding of oxidation and combustion: using action research to improve teachers’ practical knowledge and teaching practice. *Research in Science and Technological Education*, v. 21, n. 2, p. 159–175, 2003.

VIEIRA, L. M. M.; MORAIS, R. D. de; ALVES, A. A. R. Metodologia ativa Jigsaw Classroom numa sequência didática contextualizada para o aprendizado de cinética química. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista – ENCITEC**, v. 15, n. 3, p. 93–112, 2025. DOI: <https://doi.org/10.31512/encitec.v15i3.1642>.

VIEIRA, S. **Como elaborar questionários**. São Paulo: Atlas, 2009.