



O uso de inteligência artificial no balanceamento de equações químicas: um relato de experiência

Miguel A. Medeiros e Claudia N. Sakai

Este trabalho avaliou as habilidades e limitações dos *chatbots* ChatGPT e Gemini no balanceamento de equações químicas do Ensino Médio. Adotou-se uma abordagem exploratória e comparativa com dez equações desbalanceadas, apresentadas às IAs por meio de comandos padronizados. As respostas foram analisadas quanto à exatidão, estrutura explicativa, consistência e capacidade de aprendizagem. O Gemini resolveu corretamente sete equações, e o ChatGPT, seis. Uma equação não foi solucionada por nenhuma das ferramentas na primeira tentativa. Ambas demonstraram capacidade de aprendizado e melhoria das respostas após múltiplas interações. Conclui-se que, apesar das limitações, os *chatbots* se mostram promissores como apoio pedagógico no ensino de Química.

► inteligência artificial, *chatbot*, ensino de química ◀

Recebido em 13/01/2025; aceito em 16/07/2025

Introdução

A evolução tecnológica pode gerar impactos significativos na educação, especialmente com a incorporação de ferramentas digitais capazes de alterar o processo de ensino-aprendizagem e promover a autonomia dos estudantes (Kenski, 2013). No entanto, a mera presença de recursos tecnológicos não garante mudanças estruturais na forma como os conteúdos são ensinados e aprendidos. É necessário conhecimento pedagógico para o uso adequado dessas ferramentas, para assegurar uma aplicação significativa (Zawacki-Richter *et al.*, 2023). No início dos anos 2000, com a crescente popularização da internet no Brasil, os estudantes passaram a substituir parcialmente as visitas às bibliotecas físicas pelo uso de ferramentas online (Medeiros e Olinto, 2019), como fóruns, blogs e sistemas de tira-dúvidas via e-mail (Giordan e Mello, 2000; Medeiros, 2009). Esses recursos inovaram ao permitir o acesso remoto, rápido e flexível à informação, embora também expusessem os estudantes a opinião particular ou erros conceituais em conteúdos não revisados. Os sistemas de tira-dúvidas, por sua vez, promoviam uma interação assíncrona com professores, possibilitando maior precisão conceitual e adaptação às necessidades individuais de aprendizagem. No entanto, tais sistemas eram associados à troca de mensagens de e-mail,

o que poderia demorar dias entre uma mensagem e outra (Nascimento e Trompieri Filho, 2002).

Duas décadas depois, a inteligência artificial (IA), por meio de *chatbots* como ChatGPT, revolucionou essa perspectiva, oferecendo respostas imediatas, baseadas em grandes bases de dados disponíveis online (Lenharo, 2024; Baidoo-Anu e Owusu Ansah, 2023; Casheekar *et al.*, 2024), a partir de respostas similares às humanas (Lo, 2023). O ChatGPT tornou-se uma das ferramentas digitais mais utilizadas no mundo, atingindo 100 milhões de usuários ativos após três meses de seu lançamento (Hu, 2023). Atualmente, o *chatbot* apresenta a marca de, pelo menos, 400 milhões de usuários, semanalmente (Jindal, 2025), sendo a população do Brasil, a quarta que mais acessa a ferramenta (Tunholi, 2024; Digital Information World, 2025). Apenas no primeiro trimestre de 2025, estima-se que aproximadamente 660 milhões de acessos ocorreram a partir do Brasil (Digital Information World, 2025). Embora os *chatbots* sejam ferramentas populares, principalmente, entre o público adulto (Kleina, 2024), os usuários entre 13 e 18 anos já representava 20% de todos os usuários do ChatGPT, segundo Kleina (2024). Embora essa ferramenta apresente vantagens como agilidade, acessibilidade e personalização das respostas, ela também levanta preocupações quanto à precisão conceitual, possibilidade de plágio e uso

ético (Mhlanga, 2023; Carvalho *et al.*, 2022; Thurzo *et al.*, 2023; Sallam, 2023).

No contexto educacional, o ChatGPT introduziu novos desafios, pois a ferramenta é capaz de fornecer respostas específicas a perguntas do usuário, podendo então ser usado para concluir tarefas e provas, no lugar dos estudantes (Lo, 2023; Rodgers *et al.*, 2023; Rudolph *et al.*, 2023; Mhlanga, 2023). Kasneski *et al.* (2023) acreditam que ferramentas como o ChatGPT exigem dos educadores e estudantes a criação de áreas de especialização e alfabetização informacional, para melhor compreender a tecnologia, suas restrições e fragilidades. Dessa forma, pode-se esperar o desenvolvimento de pensamento crítico e estratégias para verificação de fatos, para que haja uma integração e uso amplo dessas ferramentas no processo de ensino-aprendizagem.

Nos dias de hoje, ainda no início dessa transformação digital, professores e estudantes já utilizam, de maneira frequente, os chatbots para obter melhores resultados em suas ações no ato de ensinar e/ou aprender, nas mais diferentes áreas do conhecimento. Para os professores, a tecnologia já é utilizada para (i) a preparação de suas aulas, a partir de elaboração de materiais, fornecendo sugestões e traduzindo materiais (Zhai, 2023; Topsakal e Topsakal, 2022; Baidoo-Anu e Owusu Ansah, 2023) e (ii) avaliação do conhecimento, a partir da criação de tarefas diversas, como novas questões ou formas alternativas de avaliação, ou ainda, a utilização direta da ferramenta para avaliar a tarefa entregue pelos estudantes (Wang *et al.*, 2023; Cotton *et al.*, 2024). Já para os estudantes, os chatbots podem, ou já são utilizados no processo de (i) aprendizagem, respondendo perguntas (Nisar e Aslam, 2023), resumindo textos (Pavlik, 2023), ou facilitando a colaboração entre colegas (Rudolph *et al.*, 2023) e (ii) revisão de conteúdo, viabilizando a verificação dos conceitos já aprendidos (Choi *et al.*, 2023), oferecendo ajuda na redação de textos (Hargreaves, 2023) e ofertando respostas de avaliação de maneira rápida (Cotton *et al.*, 2024).

Com a crescente inserção de tecnologias digitais e ferramentas de inteligência artificial na educação, torna-se fundamental analisar como esses recursos podem ser aplicados de maneira significativa no ensino de conteúdos específicos. No caso da Química, o balanceamento de equações químicas ocupa um papel central na Físico-Química do Ensino Médio, sendo essencial para o desenvolvimento do raciocínio científico dos estudantes. Sua aprendizagem exige o domínio de habilidades como raciocínio lógico, interpretação precisa de fórmulas e equações, além da aplicação de estratégias para resolução de problemas (Duarte, 2021). Diante dessas exigências, muitos estudantes demonstram dificuldades em compreender o conteúdo (Ogundij, 2024). Nesse

Com a crescente inserção de tecnologias digitais e ferramentas de inteligência artificial na educação, torna-se fundamental analisar como esses recursos podem ser aplicados de maneira significativa no ensino de conteúdos específicos. No caso da Química, o balanceamento de equações químicas ocupa um papel central na Físico-Química do Ensino Médio, sendo essencial para o desenvolvimento do raciocínio científico dos estudantes.

contexto, os recursos digitais, especialmente os chatbots baseados em inteligência artificial, podem ser ferramentas promissoras para apoiar o processo de aprendizagem. Eles permitem uma abordagem mais personalizada, interativa e acessível (Davar, 2025), podendo ser utilizados tanto em sala de aula, com mediação docente, quanto em situações de estudo autônomo, fora do ambiente escolar.

Metodologia

Este trabalho buscou avaliar a habilidade e limitações de chatbots (ChatGPT e Gemini), que são ferramentas de inteligência artificial,

na resolução de balanceamento de equações químicas, comuns ou possíveis de serem apresentadas no Ensino Médio. A pesquisa adota uma abordagem exploratória e comparativa, com foco na análise da exatidão e clareza das respostas.

Pergunta a ser respondida

Os Chatbots são capazes de fornecer respostas corretas e adequadas para o balanceamento de equações químicas, que normalmente são trabalhadas no Ensino Médio, utilizando comandos simples?

Para responder a essa questão, seguimos as etapas:

1. Amostra de equações

Foram selecionadas dez equações químicas desbalanceadas, com grau de complexidade variado para o seu correto balanceamento. As equações químicas representam reações reais e podem ser resolvidas a partir do método de tentativa e erro, abordado no Ensino Médio. As equações químicas (já balanceadas) utilizadas neste trabalho foram:

equação 1 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

equação 2 - $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

equação 3 - $2\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{Cu}_2\text{P}_2\text{O}_7 + 4\text{H}_2\text{O}$

equação 4 - $2\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{SiO}_2 + 10\text{C} \rightarrow 6\text{CaSiO}_3 + 10\text{CO} + \text{P}_4$

equação 5 - $3\text{I}_2 + 6\text{NaOH} \rightarrow 5\text{NaI} + \text{NaIO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

equação 6 - $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$

equação 7 - $\text{SO}_3 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

equação 8 - $2\text{KMnO}_4 + 16\text{HCl} \rightarrow 2\text{KCl} + 2\text{MnCl}_2 + 5\text{Cl}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$

equação 9 - $2\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_7 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

equação 10 - $\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

2. Escolha das ferramentas

Foram escolhidas duas diferentes ferramentas de IA, ChatGPT e Gemini, por serem amplamente conhecidas, de fácil acesso e fornecerem acesso gratuito.

3. Padronização da interação

Foi elaborado um *prompt* (comando) padrão para igualar

todas as interações, a fim de assegurar que todas as equações fossem apresentadas da mesma forma às duas diferentes ferramentas: “por favor, forneça o balanceamento adequado para a reação química:” + a equação desejada. Optou-se por descrever textualmente a ação desejada, ainda que a simples apresentação da equação desbalanceada também levasse a ferramenta de IA a realizar o balanceamento.

4. Critérios de interação

As interações foram realizadas nos mesmos dias, de maneira sequencial e alternada entre as ferramentas. Cada equação foi apresentada inicialmente ao Gemini e posteriormente ao ChatGPT. Todo o conteúdo das respostas foi registrado.

5. Análise dos dados

Os resultados foram quantificados em termo de erros e acertos e comparados entre as ferramentas. Análise qualitativa foi realizada para discutir o caso de uma equação química ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), que não foi devidamente balanceada nem por ChatGPT, nem Gemini, a partir da primeira interação. Buscou-se a partir dessa análise, identificar limitações das ferramentas.

6. Critérios da análise

As respostas obtidas a partir das interações com as ferramentas foram avaliadas seguindo os critérios: (i) correção do balanceamento - acerto ou erro, em relação ao balanceamento correto, previamente estabelecido por um especialista; (ii) estrutura da resposta – se as respostas fornecidas são elaboradas a fim de explicar os cálculos envolvidos; (iii) capacidade de aprendizagem – se as ferramentas são capazes de aprender, a partir de comandos fornecidos pelo usuário e (iv) consistência das respostas – se as ferramentas são capazes de fornecer as mesmas respostas para os mesmos comandos, em dias diferentes.

Resultados

Para compreender os erros cometidos pelos chatbots no balanceamento de equações químicas e analisar sua capacidade de aprendizagem ao longo das interações, foram selecionadas dez equações representativas do conteúdo de Físico-Química do Ensino Médio. A seguir, apresentam-se os principais resultados obtidos por meio da interação com as ferramentas ChatGPT e Gemini, considerando o desempenho inicial, a evolução ao longo das reformulações dos comandos e os padrões de acerto, erro e correção identificados nas respostas. Essa análise busca oferecer subsídios para professores interessados em explorar o uso desses recursos digitais em contextos educativos.

Os robôs de IA foram estruturados para interagir com os usuários, a partir da linguagem escrita, ou comando de texto

(Azambuja e da Silva, 2024). Tais ferramentas apresentam disposição simples, como um chat de bate papo (ferramenta bastante popular no início do século XXI), já que esse é o propósito principal das ferramentas, possibilitar uma conversa entre usuário e máquina. Para o uso do ChatGPT ou do Gemini, não é necessário cadastro prévio, mas para consultar as conversas no futuro, é necessário estar conectado a uma conta, desde o início das interações.

A primeira parte do trabalho consistiu na apresentação simultânea das equações químicas desbalanceadas, ao ChatGPT e ao Gemini, utilizando o mesmo comando (*prompt*) em cada um dos chatbots (“por favor, forneça o balanceamento adequado para a reação química:” + a equação que se desejava obter o balanceamento químico), por exemplo, para a equação 1, o comando ficou assim: “por favor, forneça o balanceamento adequado para a reação química: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ”. Após apresentar o comando para cada uma das 10 equações químicas, tanto no ChatGPT, quanto no Gemini, as respostas foram tabuladas e analisadas, observando que o Gemini acertou 7 das 10 questões, enquanto o ChatGPT acertou 6 dos 10 balanceamento químicos, após a primeira interação para cada equação. Embora pareça que uma ferramenta de IA não deveria errar no balanceamento de equações químicas simples, taxas de erro de 30 a 40% foram observadas. Tais falhas podem surpreender, considerando que essas equações são rotineiramente apresentadas a estudantes do Ensino Médio, e talvez, aos próprios chatbots. Pesquisas recentes mostram limitações importantes desses sistemas de IA, em resolução de tarefas educacionais: (i) Pardos e Bhandari (2024) indicam que o ChatGPT falhou na resolução de 32% de problemas simples de matemática, mas errou menos em problemas mais avançados; (ii) Dao *et al.* (2023) apontam que chatbots erraram conceitos sobre leis ponderais, conservação de massa e propriedades periódicas, além de apresentarem dificuldades em problemas de cálculos estequiométricos, equilíbrio químico e concentração de soluções, indicando, às vezes, respostas corretas, mas processos incorretos ou inexistentes para alcançar a resposta; (iii) Clark (2023) verificou que o ChatGPT errou na resolução de questões de química geral, sendo impreciso no raciocínio e aplicação de conceitos fundamentais, como conservação de massa, balanceamento de equações e conversão de unidades e (iv) Watts *et al.* (2023) verificaram que o ChatGPT apresentou textos sobre química com afirmações desconexas e imprecisas, do ponto de vista científico, tais como, “HCl é uma base forte” ou “estruturas em ressonância são isômeros”.

Dentre as equações utilizadas neste estudo, destaca-se a reação entre o óxido de ferro (III), ácido sulfúrico e água, com formação da romboclase ($\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), equação 1 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Essa equação foi balanceada de forma incorreta pelos dois chatbots

Para compreender os erros cometidos pelos chatbots no balanceamento de equações químicas e analisar sua capacidade de aprendizagem ao longo das interações, foram selecionadas dez equações representativas do conteúdo de Físico-Química do Ensino Médio.

e do ponto de vista educacional, trata-se de uma equação quimicamente rica e com potencial interdisciplinar: envolve reações de formação de sal hidratado, interação ácido-base e hidratação, ao mesmo tempo em que permite a discussão de problemas ambientais importantes. A romboclaste é um composto encontrado em ambientes de drenagem ácida oriundos de atividades de mineração (USGS, 2024), sendo associada à acidificação de corpos d'água contaminados (Kappler, 2020), como os que ocorreram após os desastres ambientais nas barragens da Samarco (2015) e da Vale (2019), que liberaram grandes quantidades de rejeitos ricos em óxidos de ferro (Vergilio *et al.*, 2020). Essa contextualização contribui para integrar o conteúdo de Físico-Química a questões socioambientais atuais, reforçando a importância do balanceamento de equações para a compreensão das transformações químicas no mundo real. Dessa forma, interações sucessivas foram realizadas até que as ferramentas de IA fossem capazes de aprender o correto balanceamento da equação química.

Na segunda parte do trabalho, a primeira interação com o chatbot Gemini foi em busca de uma equação química que representasse a síntese de um composto químico, o $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2$ (prompt: “qual é a reação química balanceada para formação de $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2$ ”). No entanto, o Gemini não foi capaz de reconhecer a existência da substância, afirmando haver inconsistência na fórmula. Como justificativa, a ferramenta apresentou explicação sobre o número de oxidação do ferro e a estabilidade do composto (“O ferro (Fe) geralmente apresenta números de oxidação +2 ou +3. A presença de um único átomo de hidrogênio (H) junto ao ferro sugere um número de oxidação +2 para o ferro, formando um cátion Fe^{2+} . No entanto, a presença de dois ânions sulfato (SO_4^{2-}) indica que a carga total do composto deveria ser negativa, o que não é possível. A combinação de um cátion de ferro (II) com dois ânions sulfato e um cátion hidrogênio não é uma combinação estável e provável em condições normais.”). Como complemento dessa primeira interação, o Gemini reafirma inconsistência na fórmula e apresenta equações químicas que representariam a síntese de compostos similares, como o sulfato ferroso (FeSO_4) e sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$). Neste momento, notou-se a dificuldade do chatbot em identificar o número de oxidação (NOX) do íon ferro, embora tenha dito que poderia ser +2 ou +3, a máquina considerou apenas a possibilidade de ser +2. O NOX do íon ferro sendo +3 e do íon hidrogênio sendo +1, neutralizaria a carga dos dois ânions sulfato (-4) e o composto teria balanço de carga zero. Este comportamento pode indicar que o chatbot, embora seja capaz de produzir respostas textualmente coerentes, não necessariamente realiza um raciocínio químico estruturado, baseando-se mais em padrões linguísticos do que na aplicação de regras químicas.

Na segunda interação, foi solicitada uma equação química balanceada para a formação do composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2$, considerando que o íon ferro apresentava número de oxidação +3, já que a IA não foi capaz de identificar (prompt: “qual é a reação química balanceada para a formação de $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2$, considerando que o íon ferro apresenta número de oxidação igual a 3?”). Novamente o robô afirma que a fórmula do composto possui inconsistências, o que dificulta o seu balanceamento. Como justificativa, o Gemini considera a carga +3 do íon ferro, mas não consegue chegar à carga zero, ao somar as cargas dos cátions e ânions (como pode ser visto na Figura 1S do Material Suplementar). A partir dessa interação, percebeu-se que a ferramenta apresenta, também, dificuldade em refletir sobre suas próprias palavras. Provavelmente, a IA ignorou ou não foi capaz de notar a presença de dois ânions sulfato, que têm carga -4, suficiente para neutralizar as cargas positivas +4 (+3 do íon ferro e +1 do íon hidrogênio).

Diante das dificuldades apresentadas pela ferramenta de inteligência artificial, o usuário considerou a possibilidade de que o equívoco tivesse sido provocado por ele próprio, em virtude do fornecimento da fórmula correspondente ao composto anidro, e não à forma hidratada, conforme especificado na equação química utilizada. Em seguida, foi inserido no chatbot o seguinte comando: apresente uma equação química balanceada para a formação do composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. A

IA, mais uma vez, afirma não ser possível a síntese direta de tal composto. No entanto, tal composto é sim possível de ser obtido a partir da equação 1, quando devidamente balanceada. A máquina afirmou ainda que seria necessária a presença de outros reagentes e catalisadores, que o composto final não seria estável, que a sua estabilidade iria depender de fatores como o raio iônico do metal, carga dos íons e natureza dos ligantes. No fim da interação, apresentou uma rota sintética complexa que não chegou ao composto proposto, apresentando para isso, uma equação intermediária desbalanceada (Figura 1). Neste ponto, percebeu-se que a ferramenta além de não conseguir identificar o número de oxidação de elementos químicos em uma fórmula, possui também dificuldades em quantificar os elementos químicos em uma fórmula ou equação química apresentada por ela própria. Além disso, observou-se a dificuldade em localizar uma informação já descrita, linhas acima, ou entre as referências listadas no Google (buscador base da ferramenta), para o composto em questão.

A quarta interação com o Gemini foi afirmando que o composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ realmente existe, pois o íon ferro pode apresentar NOX igual a +3. Prontamente a ferramenta afirma: “você está absolutamente certo! A fórmula $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ representa um composto de coordenação estável e plausível”. E a ferramenta complementa a resposta

Neste ponto, percebeu-se que a ferramenta além de não conseguir identificar o número de oxidação de elementos químicos em uma fórmula, possui também dificuldades em quantificar os elementos químicos em uma fórmula ou equação química apresentada por ela própria.

Possíveis Rotes Sintéticos:

Embora não haja uma única equação balanceada para a formação direta desse composto, podemos considerar rotas sintéticas mais complexas que envolvem várias etapas. Uma possível rota sintética seria:

1. Formação do sulfato de ferro (II): $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$
2. Oxidação do sulfato de ferro (II) a sulfato de ferro (III): $2\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{H}_2\text{O}$
3. Formação do complexo: $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-}$

A última etapa representa a formação do complexo de coordenação $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, que é a espécie presente no composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Importante: Essa é apenas uma possível rota sintética e pode haver outras formas de preparar esse composto. A escolha do método sintético dependerá de diversos fatores, como a pureza desejada do produto, a escala de produção e a disponibilidade de reagentes.

Figura 1: Recorte da resposta ao comando “apresente uma equação química balanceada para a formação do composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ”.

justificando a existência do composto e uma rota complexa para a sua obtenção. Mesmo após quatro interações com a IA, ela ainda não era capaz de fornecer a equação desejada (que já havia sido apresentada sem balanceamento, no início de todas as interações), sendo necessário fornecer os reagentes para que uma possível equação química balanceada fosse apresentada.

Antes da quinta interação com o Gemini, testou-se o ChatGPT, apresentando o mesmo comando inicial (*prompt*: “qual é a reação química balanceada para formação de $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2$ ”). Diferentemente do Gemini, prontamente o ChatGPT apresentou uma equação química, indicando os principais reagentes utilizados e o produto proposto. No entanto, a equação apresentada não era a equação esperada e também não estava devidamente balanceada. A equação apresentada pelo robô foi: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 + 3\text{H}_2\text{O}$.

Voltando então para a quinta interação com o Gemini, momento em que os compostos Fe_2O_3 e H_2SO_4 foram apresentados como reagentes principais para obtenção do $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (*prompt*: “a formação do composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ é dada a partir da combinação de Fe_2O_3 e H_2SO_4 , em temperaturas elevadas”). A IA afirma que é improvável que tais reagentes se combinem para formação do produto informado (Figura 2S). Mesmo após várias interações, é afirmado que há inconsistências na fórmula em relação à carga e à estabilidade do composto. É apresentado novamente uma equação química que representa a reação entre o óxido de ferro e o ácido sulfúrico, formando sulfato férrico, que seria o produto provável da reação e não o composto inicialmente informado. Para o chatbot, até o momento, é improvável que o composto seja sintetizado a partir dos reagentes apresentados. Esse resultado reafirma a dificuldade da ferramenta em buscar informações dentro do próprio chat e na internet, mesmo quando o usuário afirma ser possível sintetizar o produto a partir dos reagentes. Diante

desse cenário, iniciou-se a sexta interação, apresentando à tecnologia, a seguinte afirmação: “*não há incompatibilidade de fórmula. Essa é inclusive a fórmula de um mineral, chamado Rhomboclase. Há diversos artigos científicos que discutem esse composto*”.

O robô, diante desse cenário, afirma, “*você está absolutamente correto! Agradeço por ter me corrigido. É fundamental que eu esteja sempre aprendendo e me aperfeiçoando. Por que eu errei? Provavelmente, minha base de dados não estava atualizada o suficiente para incluir informações sobre minerais menos comuns ou com fórmulas estruturais mais complexas. Além disso, a combinação de um íon hidrogênio com um íon metálico e dois ânions sulfato pode parecer incomum à primeira vista, o que pode ter me levado a uma análise mais conservadora*”. Seguindo para uma descrição das características do mineral. Como a resposta ficou apenas nisso, não expandindo para a desejada equação química, o usuário foi mais específico na sétima interação.

O usuário solicitou a equação química para formação do composto, a partir de H_2SO_4 e Fe_2O_3 . Além disso, perguntou se era indispensável a presença de água para a promoção da reação. A tecnologia afirma então, que é uma reação que tem várias etapas e outros reagentes não apresentados, além do ácido, do óxido e da água, já que era necessária a presença de um agente redutor no meio reacional. Na sequência, são apresentadas as reações intermediárias, envolvendo até mesmo o ácido ascórbico. Essa resposta foi suficiente para o usuário tentar ser ainda mais claro com a inteligência, na próxima interação.

A oitava interação foi o comando: “*como balancear a reação química $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$? Falta algum composto, qual?*”. Neste estágio da conversa, acreditava-se que IA seria capaz de aprender com os seus próprios erros, mas diante da resposta fornecida, passamos a duvidar dessa capacidade. O chatbot, novamente, afirmou que o composto era inesperado, pois havia um desequilíbrio

de cargas e ausência de agente redutor. Apresentando uma sequência de equações químicas que representavam reações intermediárias e a equação global ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 + 10\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6 + 2\text{H}^+$). O principal problema apresentado aqui era o erro no balanceamento da equação apresentada (faltava o balanceamento de enxofre, hidrogênio e oxigênio). Como o balanceamento dessa equação e também das equações intermediárias estavam errados, foram realizadas outras seis interações com a inteligência artificial para que ela conseguisse resolver o balanceamento de alguma dessas reações que foram criadas e apresentadas por ela, mas mesmo após tantas interações, ela não foi capaz de fazer o balanceamento e até mesmo, alterou a fórmula do composto inicialmente apresentado ($\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ para $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), o que é inaceitável em um balanceamento químico, já que estaria alterando a composição do composto químico representado. Além disso, a última equação química apresentada foi uma equação iônica genérica para a síntese do produto: $2\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + x\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}(\text{s})$.

Após as diversas interações, percebeu-se que a IA apresenta dificuldades em entender e resolver problemas químicos, seja a identificação de número de oxidação ou balanceamento de equação química, talvez pela especificidade do assunto. É importante destacar que esses robôs não são capazes de raciocinar, mas sim, fazer uma busca em um enorme banco de dados textuais e apresentar prováveis respostas aos questionamentos (Rodrigues e Rodrigues, 2023). Como algumas equações químicas podem ser mais difíceis de serem encontradas na internet, ou estarem erradamente apresentadas, as ferramentas acabam apresentando equações químicas incorretas.

Diante das dificuldades apresentadas pelo Gemini, esse chatbot foi colocado em segundo plano e voltou-se a interagir com o ChatGPT, que inicialmente havia sido capaz de apresentar dois importantes reagentes para a síntese do $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

A segunda interação com o ChatGPT foi o comando: “qual é a reação química balanceada para formação de $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ”, já que a primeira interação tratou do composto anidro e o Gemini apresentou dificuldades em trabalhar com o composto anidro. Como resposta, a ferramenta apresentou a equação ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 + 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$) e uma breve descrição do nome dos compostos envolvidos. Como é possível notar, a equação química não está balanceada (embora já apresente a estrutura da equação 1) e isso foi o alvo da terceira interação com a ferramenta (não apresentada aqui).

Como resposta, a IA afirma: “Você está absolutamente certo! Vamos corrigir a equação para garantir que esteja adequadamente balanceada”. E então é apresentada uma nova equação química desbalanceada ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Na explicação do

balanceamento para o átomo de enxofre (S), percebe-se onde essa ferramenta poderia estar errando (“6 átomos de enxofre nos dois lados (6 átomos de enxofre no SO_4)”). Nos reagentes, seriam seis átomos de S, pois há seis unidades de H_2SO_4 , mas nos produtos há apenas quatro átomos de S. Esse resultado mostra que o robô não consegue contar elementos químicos em fórmulas mais complexas, pois não há cenário possível para que a quantidade de enxofre, no produto, some 6.

A quarta, a quinta, a sexta, a sétima e a oitava interação com a ferramenta se deram para tentar balancear a equação química apresentada anteriormente. O ChatGPT na oitava interação, forneceu uma equação química repetida, que já havia sido apresentada na quarta interação. Esse resultado inesperado foi apresentado à ferramenta, que pediu desculpas pela confusão, mas garantiu que iria abordar a correção de maneira clara e precisa, com foco no balanceamento dos átomos de oxigênio, já que era ali onde o erro persistia (na verdade, o erro persistia no equilíbrio das quantidades de S, H e O). Como alternativa, apresentou a equação química ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), também desbalanceada e já apresentada na quinta interação. Iniciou-se aqui, um loop de respostas equivocadas. Dessa forma, o usuário apresentou a sua preocupação, como professor de química, sobre os sucessivos erros apresentados e tratados como respostas corretas. O robô pediu uma nova desculpa e afirmou que iria corrigir de forma definitiva, redobrando sua atenção, mas forneceu outra equação química desbalanceada e com adição de um novo produto ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 + 9\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$). Esse tipo de oscilação (resposta incorreta e afirmação que agora é a resposta definitiva

e novamente, resposta incorreta) evidencia que os chatbots podem apresentar respostas corretas por tentativa, mas não consolidam um aprendizado real. Isso limita sua aplicação nas práticas pedagógicas se essa aplicação não for acompanhada de mediação crítica por parte do professor.

Como os chatbots são classificados como ferramentas capazes de aprender e após diversas interações ainda não foram capazes de resolver a equação 1, decidiu-se ensinar o método de balanceamento químico por tentativa, para verificar se suas respostas são processadas de maneira lógica (lógica química) ou são apenas tentativas aleatórias. É esperado que após o processo de aprendizagem, os robôs sejam capazes de resolver essa e as outras equações não balanceadas (Gemini não balanceou 3 equações e ChatGPT não balanceou 4 equações).

O ChatGPT foi novamente apresentado à sua última resposta para o balanceamento da equação 1. Como estratégia de interação, optou por apresentá-lo ao método de balanceamento por tentativas (Figura 3S). A ferramenta informou então, que iria seguir as orientações recomendadas, mas novamente apresentou uma equação química desbalanceada.

Esse tipo de oscilação (resposta incorreta e afirmação que agora é a resposta definitiva e novamente, resposta incorreta) evidencia que os chatbots podem apresentar respostas corretas por tentativa, mas não consolidam um aprendizado real.

Dessa forma, uma nova interação foi realizada, apresentando onde a IA havia errado e como ela deveria agir para resolver o problema (Figura 4S). A máquina novamente pede desculpas pelos erros e afirma que dessa vez irá fazer o correto balanceamento, mas novamente, apresenta uma equação química ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) com os coeficientes estequiométricos diferentes do esperado. Ao analisar a elaboração da resposta, percebeu-se que o ChatGPT chegou à resposta correta, mas não foi capaz de identificar isso, considerando tal equação como intermediária, já que para o robô de IA, a quantidade de oxigênio ainda estava errada. A IA já havia chegado à resposta, mas ainda não conseguia identificá-la, então, uma outra interação foi realizada para ele entregar a equação correta. O usuário pediu para o robô manter a atenção necessária nos elementos já balanceados, enquanto balanceava os outros. Era esperado que a IA ChatGPT percebesse o seu erro. O chatbot então escreve a última equação apresentada, aquela que já estava errada, indicando novamente a equação correta como intermediária (Figura 5S). Iniciou-se novamente um loop de respostas, mostrando que a ferramenta não seria capaz de identificar que já havia chegado à resposta correta. Sendo assim, o usuário foi claro com o robô, descrevendo que ele já havia chegado à equação balanceada, mas a tratava como intermediária para buscar uma equação final desbalanceada. A ferramenta novamente pede desculpas e então apresenta a equação definitiva ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Foram necessárias quatro interações para a ferramenta aprender a resolver o balanceamento que ela já havia tentado resolver previamente, tendo que apontar que ela já havia chegado à resposta final, embora não conseguisse identificar. Nesse ponto, novamente fica claro que a ferramenta elabora respostas textuais, mas sem nenhuma percepção química, o que pode ser bastante perigoso para professores e estudantes, que não se atentarem às respostas fornecidas pelas ferramentas.

Na segunda parte do trabalho, a IA Gemini, após diversas interações, forneceu como última equação química, uma equação iônica genérica ($2\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + x\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}(\text{s})$), como já apresentado anteriormente. Como essa equação apresentada não contém os íons representantes dos reagentes iniciais, realizou-se uma nova interação com a ferramenta, para que ela tentasse novamente resolver o problema proposto, há alguns dias atrás. O usuário apresentou o comando (*“Há alguns dias, eu solicitei a você o balanceamento da equação*

$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, mas você não conseguiu apresentar a correta equação química balanceada. Será que hoje você consegue? Tome por base, a última resposta fornecida a mim, para essa questão.”). Para surpresa, a IA fornece uma resposta similar àquela fornecida às primeiras interações, na qual é informado uma inconsistência na fórmula do produto final, mostrando que toda a discussão passada foi esquecida (ou ignorada) pela máquina. A equação química apresentada como correta foi $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$, o que não corresponde ao que foi apresentado a ela. Dessa forma, novos comandos foram criados para tentar ensinar a ferramenta a correta maneira de balancear a equação.

A segunda interação com o Gemini destacou que ela apresentou uma equação química diferente daquela que o usuário havia proposto, solicitando o balanceamento correto, a partir do método de tentativas, como descrito para a IA ChatGPT. Como resposta à interação, a ferramenta informou não conseguir balancear a equação química (Figura 6S).

A terceira interação reforçou o fato de haver interações passadas sobre a síntese do composto $\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, o qual se denomina romboclase. Foi solicitado a ferramenta que considerasse a equação proposta e tentasse o seu correto balanceamento, de acordo com o que já foi descrito na interação anterior e é apresentado na Figura 7S. O robô reconheceu a existência do composto e partiu de uma equação química diferente daquela inicialmente apresentada, afirmando não ser capaz de balancear a equação química (Figura 2). Diante desse cenário, a equação química balanceada foi apresentada à IA, para que ela entendesse que é possível o balanceamento. O robô agradeceu e afirmou ter identificado seus erros (Figura 8S).

Para finalizar as interações sobre essa equação química, após 4 horas, a partir de outras contas, a mesma pergunta foi realizada ao Gemini e ao ChatGPT (*“por favor, forneça o balanceamento adequado para a reação química: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ”*) e apenas o ChatGPT foi capaz de fornecer a equação química balanceada. A resposta fornecida pelo Gemini se assemelhou à primeira resposta dada na discussão dessa equação química, afirmando que o produto apresentava inconsistência na fórmula. Mas ao efetuar a pergunta a partir de outras 2 diferentes contas, percebeu-se que o robô foi capaz de fornecer a resposta correta. Após 30 dias, a mesma pergunta foi apresentada aos robôs de IA e apenas o Gemini foi capaz de fornecer o balanceamento correto da equação.

Conclusões:

- **Não conseguimos balancear a equação.** Ao tentar balancear um elemento, desbalanceamos outro.
- **A reação como apresentada, com a formação exclusiva de romboclase, pode não ser estequiometricamente correta.**

Figura 2: Recorte da resposta do Gemini assumindo não conseguir balancear a equação química.

Tabela 1: Equações químicas inicialmente não resolvidas pelas inteligências artificiais.

Equação química	Gemini (1ª tent.)	ChatGPT (1ª tent.)	Gemini (2ª tent.)	ChatGPT (2ª tent.)	Gemini (3ª tent.)	ChatGPT (3ª tent.)	Gemini (4ª tent.)	ChatGPT (4ª tent.)
Equação 1	Errado	Errado	Errado	Correto	Correto	Errado	Correto	Correto
Equação 2	Errado	Correto	Errado	Correto	Errado	Errado	Correto	Correto
Equação 4	Errado	Errado	Correto	Correto	Correto	Errado	Correto	Correto
Equação 5	Correto	Errado	Correto	Errado	Errado	Errado	Correto	Correto
Equação 9	Correto	Errado	Correto	Errado	Errado	Errado	Correto	Correto
Total de erros	3	4	2	2	3	5	0	0

No momento imediatamente após a resposta representada na Figura 2 e após 30 dias, as outras equações químicas que o Gemini e o ChatGPT haviam errado, foram novamente apresentadas. O resultado é mostrado na Tabela 1.

A Tabela 1 apresenta as equações químicas que as ferramentas não foram capazes de resolver, mostrando a primeira, a segunda, a terceira e a quarta tentativa de resolução para cada equação. A primeira e a segunda tentativa foram realizadas no mesmo dia, já a terceira e quarta tentativa, foram realizadas após decorrer 30 e 180 dias. Como é possível notar, o Gemini havia errado três equações, mas após a segunda interação, o robô foi capaz de corrigir o balanceamento de uma equação, mantendo ainda duas respostas incorretas. Após 30 dias, a ferramenta voltou a errar 3 balanceamentos, corrigiu o balanceamento da equação 1 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), continuou acertando o balanceamento da equação 4 ($2\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{SiO}_2 + 10\text{C} \rightarrow 6\text{CaSiO}_3 + 10\text{CO} + \text{P}_4$) e errou o balanceamento das equações 5 ($3\text{I}_2 + 6\text{NaOH} \rightarrow 5\text{NaI} + \text{NaIO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$) e 9 ($2\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_7 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$), que havia acertado anteriormente. Já o ChatGPT, inicialmente havia errado o balanceamento de quatro equações, mas foi capaz de corrigir os erros de duas dessas equações, mantendo outras duas incorretas. Transcorrido 30 dias, o ChatGPT não foi capaz de acertar nenhum dos balanceamentos, nem mesmo a equação 2 ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 2\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{O}$), que ele havia acertado inicialmente. A partir desse resultado, entende-se que o ChatGPT foi capaz de aprender e melhorar suas respostas, corrigindo dois de seus erros iniciais, no mesmo dia, mas após 30 dias, a ferramenta já não lembrava de nenhuma das respostas fornecidas. Já o Gemini, foi capaz de melhorar a resposta de apenas uma das três equações inicialmente erradas, no mesmo dia, mas após 30 dias, forneceu respostas diferentes aos mesmos questionamentos. No entanto, posterior a 180 dias, ambas as ferramentas de IA foram capazes de resolver adequadamente todas as equações apresentadas, o que pode mostrar uma evolução

A análise qualitativa realizada sobre a equação química em que ambas as ferramentas de IA inicialmente falharam no balanceamento, mostrou que o ChatGPT conseguiu seguir as instruções do usuário e chegou à resposta correta. No entanto, o robô não reconheceu a resposta correta como tal, sendo necessária a indicação do usuário, que a equação devidamente balanceada estava sendo tratada como intermediária, na resposta apresenta.

das ferramentas, uma aprendizagem para as equações específicas, ou simplesmente uma tentativa acertada de resposta.

Conclusões

As inteligências artificiais Gemini e ChatGPT demonstraram habilidades similares no balanceamento de equações químicas. Inicialmente, Gemini e ChatGPT foram capazes de balancear 7 e 6 equações químicas (de um total de 10), respectivamente. No entanto, ao retestar as equações que estavam incorretas, o Gemini conseguiu corrigir apenas uma, enquanto o ChatGPT corrigiu duas. Após 30 dias, em um terceiro teste, o ChatGPT não foi capaz de corrigir nenhuma equação que havia balanceado incorretamente, enquanto o Gemini corrigiu alguns erros, mas cometeu novos em balanceamentos que já havia acertado. Decorridos 180 dias, ambas as ferramentas resolveram os problemas iniciais, indicando um aprimoramento ou um aprendizado específico às equações apresentadas.

A análise qualitativa realizada sobre a equação química em que ambas as ferramentas de IA inicialmente falharam no balanceamento, mostrou que o ChatGPT conseguiu seguir as instruções do usuário e chegou à resposta correta. No entanto, o robô não reconheceu a resposta correta como tal, sendo necessária a indicação do usuário, que a equação devidamente balanceada estava sendo tratada como intermediária, na resposta apresentada. Por outro lado, o Gemini não foi capaz de seguir as instruções do usuário, mostrando dificuldade em acessar ou compreender as respostas previamente fornecidas. Além disso, o Gemini não foi capaz de apresentar uma resposta correta ou aceitável nas interações posteriores e mesmo após ser apresentado a equação corretamente balanceada, não foi capaz de reproduzi-la a outro usuário, que realizou a mesma pergunta, no mesmo dia. Após outros dois diferentes usuários fazerem a mesmo questionamento, o Gemini demonstrou capacidade de fornecer a correta resposta, mantendo por 30 dias, o que não foi observado para o

ChatGPT, nesse período. Finalmente, após 180 dias, ambas as ferramentas foram capazes de acertar o balanceamento da equação, desde a primeira interação.

Os resultados desse trabalho indicam que a utilização de robôs de IA, particularmente os chatbots, requer cautela, especialmente ao abordar temas de química, pois tais ferramentas estão em desenvolvimento constante, não são específicas para conteúdos químicos e podem fornecer respostas incorretas a questionamentos específicos. Dessa forma, sugere-se que os professores alertem aos seus alunos sobre os riscos de se utilizar tais ferramentas no processo de aprendizagem de química.

Referências

AZAMBUJA, C. C. e SILVA, G. F. Novos desafios para a educação na Era da inteligência artificial. *Filosofia Unisinos*, v. 25, n. 1, p.1-16, 2024.

BAIDOO-ANU, D. e OWUSU ANSAH, L. Education in the era of generative artificial intelligence (ai): understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning. *Journal of AI*, v. 7, n. 1, p. 52-62, 2023.

CARVALHO, L.; MARTINEZ-MALDONADO, R.; TSAI, Y. S.; MARKAUSKAITE, L. e DE LAAT, M. How can we design for learning in an AI world?. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, v. 3, p. 1-9, 2022.

CASHEEKAR, A.; LAHIRI, A.; RATH, K.; PRABHAKAR, K. S. e SRINIVASAN, K. A contemporary review on chatbots, AI-powered virtual conversational agents, ChatGPT: Applications, open challenges and future research directions. *Computer Science Review*, v. 52, p. 100632, 2024.

CHOI, J. H.; HICKMAN, K. E.; MONAHAN, A. e SCHWARCZ, D. Chatgpt goes to law school. *Journal of Legal Education*, v. 71, n. 3, p.387-400, 2023.

CLARK, T. M. Investigating the use of an artificial intelligence chatbot with general chemistry exam questions. *Journal of Chemical Education*, v. 100, n. 5, p. 1905-1916, 2023.

COTTON, D. R.; COTTON, P. A. e SHIPWAY, J. R. Chatting and cheating: ensuring academic integrity in the Era of ChatGPT. *Innovations in Education and Teaching International*, v. 61, p. 228-239, 2024.

DAO, X. -Q.; LE, N. -B.; VO, T. -D.; NGO, B. -B. e PHAN, X. -D. LLMs' Capabilities at the high school level in chemistry: cases of ChatGPT and Microsoft Bing AI Chat. *ChemRxiv*, p.1-7, 2023.

DAVAR, N. F.; DEWAN, M. A. A. e ZHANG, X. AI Chatbots in education: challenges and opportunities. *Information*, v. 16, n. 3, p. 235-250, 2025.

DIGITAL INFORMATION WORLD. ChatGPT Stats in Numbers: Growth, Usage and Global Impact. Digital Information World. Disponível em: <https://www.digitalinformationworld.com/2025/05/chatgpt-stats-in-numbers-growth-usage-and-global-impact.html>, acesso em jun. de 2025.

DUARTE, C. J. Método algébrico para balanceamento de reações: uma alternativa não explorada em livros didáticos de química. *Química Nova na Escola*, v. 43, n. 2, p. 183-189, 2021.

GIORDAN, M. e MELLO, I. C. Educação aberta na Web - serviços de atendimento aos estudantes. *Química Nova na Escola*, v. 12, p. 8-10, 2000.

HARGREAVES, S. 'Words are flowing out like endless rain

Material Suplementar

O material suplementar a este trabalho está disponível em https://qnesc.sbq.org.br/online/prelo/QNEsc_5-25_MS.pdf, na forma de arquivo PDF, com acesso livre.

Miguel A. Medeiros (mmedeiros@uft.edu.br) é licenciado, mestre e doutor em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais. Atualmente é professor Associado na Universidade Federal do Tocantins. **Claudia N. Sakai** (claudia.sakai@uft.edu.br) é bacharel em Comunicação Social e mestranda no Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação (PROFNIT).

into a paper cup': ChatGPT & Law School Assessments. *Legal Education Review*, v. 33, p. 69-95, 2023.

HU, K. ChatGPT Sets Record for Fastest-Growing User Base-Analyst Note. *Reuters*, 2023. Disponível em: <https://www.reuters.com/technology/chatgpt-sets-record-fastest-growing-user-base-analyst-note-2023-02-01>, acesso em jun. de 2025.

JINDAL, S. ChatGPT Surpasses 400 Million Weekly Active Users, OpenAI Plans GPT5 Launch. *Analytics India Magazine*. Disponível em: <https://analyticsindiamag.com/ai-news-updates/chatgpt-surpasses-400-million-weekly-active-users-openai-plans-gpt-5-launch/>, acesso em jun. de 2025.

KAPPLER, A. Acid mine drainage: a legacy of an industrial past. *Royal Society of Chemistry Education*, 2020. Disponível em: <https://edu.rsc.org/feature/acid-mine-drainage-a-legacy-of-an-industrial-past/2020087.article>, acesso em jul. de 2025.

KASNECI, E.; SESSLER, K.; KÜCHEMANN, S.; BANNERT, M.; DEMENTIEVA, D.; FISCHER, F.; GASSER, U.; GROH, G.; GÜNNEMANN, S.; HÜLLERMEIER, E.; KRUSCHE, S.; KUTYNIOK, G.; MICHAELI, T.; NERDEL, C.; PFEFFER, J.; POQUET, O.; SAILER, M.; SCHMIDT, A.; SEIDEL, T.; STADLER, M.; WELLER, J.; KUHN, J. e KASNECI, G. ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education. *Learning and Individual Differences*, v. 103, p. 102274, 2023.

KENSKI, V. M. *Tecnologias e ensino presencial e a distância*. Campinas: Papirus, 2013.

KLEINA, N. Brasil é o quarto país que mais usa o ChatGPT no mundo. *Mundo Conectado*, 2024. Disponível em: <https://www.mundoconectado.com.br/inteligencia-artificial/brasil-e-o-quarto-pais-que-mais-usa-o-chatgpt-no-mundo>, acesso em jul. de 2025.

LENHARO, M. ChatGPT turns two: how the AI chatbot has changed scientists' lives. *Nature*, v. 636, p. 281-282, 2024.

LO, C. K. What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Science*, v. 13, p. 410-424, 2023.

MEDEIROS, M. A. Análise de mensagens enviadas para um sistema de tutoria em química na web. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 2, p. 76-81, 2009.

MEDEIROS, A. L. e OLINTO, G. O impacto da tecnologia de informação e comunicação nas bibliotecas públicas: envolvimento comunitário, criatividade e inovação. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, v. 72, p. 121-134, 2019.

MHLANGA, D. Open AI in education, the responsible and ethical use of ChatGPT towards lifelong learning. In: *FinTech and artificial intelligence for sustainable development: The role*

of smart technologies in achieving development goals. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023.

NASCIMENTO, R. B. e TROMPIERI FILHO, N. Correio eletrônico como recurso didático no ensino superior: o caso da Universidade Federal do Ceará. *Ciência da Informação*, v. 31, n. 2, p. 86-97, 2002.

NISAR, S. e ASLAM, M. S. Is ChatGPT a good tool for T&CM students in studying pharmacology?. In: Aslam, M. e Nisar, S. *Artificial Intelligence Applications Using ChatGPT in Education: Case Studies and Practices*. Hershey (PA, EUA): IGI Global, 2023.

OGUNDIDJ, O. Diagnosis of students' difficulties in balancing chemical equations in some selected senior secondary schools in Ibadan, Nigeria. *Journal of General Education and Humanities*, v. 3, n. 4, p. 359-368, 2024.

PARDOS, Z. A. e BHANDARI, S. ChatGPT-generated help produces learning gains equivalent to human tutor-authored help on mathematics skills. *PLOS ONE*, v. 19, n. 5, e0304013, 2024.

PAVLIK, J. V. Collaborating with ChatGPT: considering the implications of Generative Artificial Intelligence for Journalism and Media Education. *Journalism & Mass Communication Educator*, v. 78, p. 84-93, 2023.

RODGERS, W.; MURRAY, J. M.; STEFANIDIS, A.; DEGBEY, W. Y. e TARBA, S. Y. An artificial intelligence algorithmic approach to ethical decision-making in human resource management processes. *Human Resource Management Review*, v. 33, p. 100925-100943, 2023.

RODRIGUES, O. S. e RODRIGUES, K. S. A inteligência artificial na educação: os desafios do ChatGPT. *Texto Livre*, v. 16, p. 1-12, 2023.

RUDOLPH, J.; TAN, S. e TAN, S. ChatGPT: Bullshit spewer or the end of traditional assessments in higher education? *Journal of Applied Learning and Teaching*, v. 6, p. 342-363, 2023.

SALLAM, M. ChatGPT utility in healthcare education, research, and practice: systematic review on the promising perspectives and valid concerns. *Healthcare*, v. 11, n. 6, p. 887-906, 2023.

THURZO, A.; STRUNGA, M.; URBAN, R.; SUROVKOVÁ, J. e AFRASHTEHFAR, K. I. Impact of Artificial Intelligence on dental education: a review and guide for curriculum update. *Education Sciences*, v. 13, p. 150-163, 2023.

TOPSAKAL, O. e TOPSAKAL, E. Framework for a foreign language teaching software for children utilizing AR, Voicebots and ChatGPT (Large Language Models). *Journal of Cognitive Systems*, v. 7, p. 33-38, 2022.

TUNHOLI, M. Brasil é o 4º país que mais usa ChatGPT no mundo; conheça o top 10. *Gizmodo*, 2024. Disponível em: <https://gizmodo.uol.com.br/brasil-e-o-4o-pais-que-mais-usa-chatgpt-no-mundo-conheca-o-top-10>, acesso em jan. de 2025.

USGS. Iron Mountain Mine - California Water Science Center. 2024. Disponível em: https://ca.water.usgs.gov/projects/iron_mountain/, acesso em jul. de 2025.

VERGILIO, C. D. S.; FERNANDES, R. O.; GRASS, R.; SILVA, R. C.; HAMMER, P. A.; MARONEZE, M. M. e STANGHERLIN, E. M. Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world (Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). *Scientific Reports*, v. 10, p. 5936, 2020.

WANG, X.; GONG, Z.; WANG, G.; JIA, J.; XU, Y.; ZHAO, J.; FAN, Q.; WU, S.; HU, W. e LI, X. ChatGPT Performs on the Chinese National Medical Licensing Examination. *Journal of Medical Systems*, v. 15, p. 86-90, 2023.

WATTS, F. M.; POULSON, R. E.; MERRIT, E. A.; STROCHER, K. M.; JOHNSTON, B. J.; KIKUGAWA, Y.; CLAUSS, B. e ODOM, A. L. Comparing student and generative artificial intelligence chatbot responses to organic chemistry writing-to-learn assignments. *Journal of Chemical Education*, v. 100, n. 10, p. 3806-3817, 2023.

ZAWACKI-RICHTER, O.; MARÍN, V. I.; BOND, M. e GOUVERNEUR, F. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, v. 20, p.1-27, 2019.

ZHAI, X. ChatGPT for next generation science learning. *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students*, v. 29, n. 3, p. 42-46, 2023.

Abstract: *The use of artificial intelligence in balancing chemical equations: an experience report.* This study evaluated the capabilities and limitations of the ChatGPT and Gemini chatbots in balancing high school chemical equations. An exploratory and comparative approach was adopted, with ten unbalanced equations presented to the AIs through standardized commands. The responses were analyzed for accuracy, explanatory structure, consistency, and learnability. Gemini correctly solved seven equations, and ChatGPT, six. One equation was not solved by either tool on the first attempt. Both demonstrated the ability to learn and improve their responses after multiple interactions. The conclusion is that, despite their limitations, chatbots show promise as pedagogical support in chemistry teaching.

Keywords artificial intelligence, chatbot, chemistry education