



INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL FRENTE A RESOLUÇÃO DE EXERCÍCIOS DE QUÍMICA: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO COM O CHATGPT

Artificial intelligence front of the solution of chemistry exercises: an exploratory study with ChatGPT

Inteligencia artificial frente a la solución de ejercicios de química: un estudio exploratorio con ChatGPT

Ingrid Domene Eugenio¹, Leonardo Augusto Natércio da Silva², Caio Murilo dos Santos³, Gustavo Bizarria Gibin⁴

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente - SP, Brasil

RESUMO

As novas formas de Inteligência Artificial vêm ganhando cada vez mais espaço na escola e entre os alunos. Destaca-se o ChatGPT pelo uso fácil e, no Ensino de Química, essa ferramenta tem se destacado pelas inúmeras possibilidades propagandeadas, entre elas a resolução de exercícios. Contudo, ainda não há 100% de certeza na efetividade de tal instrumento. Este trabalho tem como objetivo investigar o potencial e capacidade do ChatGPT em resolver exercícios de Química envolvendo cálculos estequiométricos e balanceamento de equações. Esses exercícios foram retirados de um livro didático do 2º ano do Ensino Médio bastante utilizado pelos professores da rede básica e aprovado no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). Dado o cunho exploratório da pesquisa, foram selecionadas quatro questões, duas mais simples e duas mais trabalhosas e complexas. Além disso, quando o ChatGPT apresentou resultado errado, realizou-se alguns testes para analisar se uma mudança no enunciado geraria também mudança nos resultados. Estes, por sinal, revelam que o *chat* se sobressai na linguagem utilizada, pois é simples e de fácil entendimento. Em contrapartida, decepciona resolvendo problemas de estequiometria, pois confunde conceitos e não considera todos os átomos ao balancear uma equação. Ou seja, ao menos que ela já esteja balanceada corretamente, não é aconselhável o uso do ChatGPT para resolução de exercícios deste tipo. Apesar de ser uma ferramenta promissora e com algumas qualidades, não é indicada para aqueles que não possuem o conhecimento completo e/ou um discernimento necessário para detectar os erros cometidos e corrigi-los.

Palavras-chave: Ensino de química; Tecnologias digitais; Assistentes virtuais; Cálculos estequiométricos.

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino e Processos Formativos, Licenciada em Química, Integrante do Grupo de Pesquisa em Metodologias para o Ensino de Ciências (GPMEC). ORCID id: <https://orcid.org/0000-0003-2627-4272>. E-mail: ingrid.d.eugenio@unesp.br.

² Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino e Processos Formativos, Licenciado em Química, Integrante do Grupo de Pesquisa em Metodologias para o Ensino de Ciências (GPMEC). ORCID id: <https://orcid.org/0000-0003-1565-0527>. E-mail: leonardo-augusto.silva@unesp.br.

³ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino e Processos Formativos, Licenciado em Química, Integrante do Grupo de Pesquisa em Metodologias para o Ensino de Ciências (GPMEC). ORCID id: <https://orcid.org/0000-0001-8071-5441>. E-mail: caio.murilo@unesp.br.

⁴ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Docente do Programa de Pós-Graduação em Ensino e Processos Formativos, Doutor em Ciências, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus Presidente Prudente – SP. Coordenador do Grupo de Pesquisa em Metodologias para o Ensino de Ciências (GPMEC). ORCID id: <https://orcid.org/0000-0001-9473-255X>. E-mail: gustavo.gibin@unesp.br.

ABSTRACT

New forms of Artificial Intelligence are gaining more space at schools and among students. ChatGPT stands out for its easy use and, in Chemistry Teaching, this tool has stood out for the numerous possibilities, including problem solving. However, there is still not 100% certainty of the effectiveness of such instrument. This work aims to investigate the potential and capacity of ChatGPT to solve exercises involving stoichiometric calculations and balancing chemical equations. These problems were extracted from a textbook for 2nd year of high school widely used by Basic Education teachers and approved by the National Textbook Program. Due to the research exploratory nature, four questions were selected, two simpler and two more laborious and complex. Furthermore, in case the ChatGPT presented the result incorrectly, some tests were performed to analyze whether a change in the statement would also generate a change in the results. These, by the way, reveal that the chat excels in the language used, as it is simple and easy to understand. On the other hand, it is disappointing when solving stoichiometry problems, as it confuses concepts and does not consider all atoms when balancing an equation. In other words, unless it is already balanced correctly, the use of ChatGPT is not indicated for solving exercises of this type and despite being a promising tool with some qualities, it is not recommended for those who do not have complete knowledge and/or a necessary discernment to detect the mistakes it made and correct them.

Keywords: Teaching of chemistry; Digital technologies; Virtual assistants; Stoichiometric calculations.

RESUMEN

Las nuevas formas de Inteligencia Artificial ganan cada vez más espacio en la escuela. El ChatGPT destaca por su facilidad de uso y, en Enseñanza de Química, esta herramienta tiene numerosas posibilidades, como la resolución de ejercicios. Sin embargo, no hay 100% de certeza en la efectividad del instrumento. Este trabajo tiene como objetivo investigar el potencial y la capacidad del ChatGPT para resolver ejercicios de Química con cálculos estequiométricos y balanceo de ecuaciones. Estos ejercicios fueron tomados de un libro para 2° año de secundaria, muy utilizado por los docentes de la Educación Básica y aprobado por el Programa Nacional de Libros de Texto. Debido a la naturaleza exploratoria de la investigación, se seleccionaron cuatro preguntas, dos más sencillas y dos más laboriosas y complejas. Además, cuando ChatGPT presentaba un resultado incorrecto, se realizaron algunas pruebas para analizar si un cambio en el enunciado también generaría un cambio en los resultados. Estos revelan que el chat destaca en el lenguaje utilizado, que es simple y fácil de entender. Por otro lado, decepciona y frustra la resolución de problemas de estequiometría porque confunde conceptos y no considera todos los átomos al balancear una ecuación. Es decir, salvo que ya esté correctamente equilibrado, no se recomienda el ChatGPT para la resolución de ejercicios de este tipo y aun de ser una herramienta prometedora con algunas cualidades, no es recomendable para aquellos que no tienen conocimiento completo y/o discernimiento necesario para detectar los errores cometidos y corregirlos.

Palabras clave: Enseñanza de la química; Tecnologías digitales; Asistentes virtuales; Cálculos estequiométricos.

INTRODUÇÃO

As Tecnologias Digitais (TD) estão cada vez mais presentes nos ambientes escolares, e a inserção delas fomenta os processos de ensino e aprendizagem. Atualmente, é inviável desassociar o ensino das TD, visto que multiplicam os espaços de aprendizagem, ou seja, a tecnologia nos faz repensar e modificar as formas de ensinar, a fim de oportunizar um aprendizado mais efetivo ao estudante. As TD têm provocado significativas mudanças na forma em que os estudantes aprendem os conceitos químicos, pois o acesso à informação foi expandido, além de possibilitar recursos que permitam compreender conceitos abstratos, como o uso de *softwares*, dispositivos móveis, vídeos e etc. (Pauletti *et al.*, 2017; Leite, 2019).

Há autores como Araya, Gibin e Souza Filho (2021) que defendem o potencial das TD no Ensino de Ciências e de Química. Para eles, as tecnologias podem estar diretamente relacionadas ao desenvolvimento de novos métodos de ensino. Outrossim, os autores ainda acreditam que as tecnologias podem auxiliar nos processos de revisão de currículos e de objetivos de ensino. São exemplos de TD: *softwares* de simulação, ferramentas para edição de apresentações e textos, portais de pesquisas em geral, *blogs*, redes sociais, computadores, *notebooks*, internet, entre outros (Moran, 2012, 2013; Araya; Gibin; Souza Filho, 2021).

Entre as TD mais recentes, a Inteligência Artificial (IA) tem apresentado funcionalidades em diversos segmentos da sociedade contemporânea, e pode ser definida como “[...] sistemas de computador inteligentes ou agentes inteligentes com características humanas, como a capacidade de memorizar conhecimento, de perceber e manipular seu ambiente de maneira semelhante a humano, e entender a linguagem natural humana” (Zawacki-Richter *et al.*, 2019, p. 10, tradução nossa). A IA tangencia a área da educação e pode potencializar o aprendizado dos estudantes, devido à personalização do ensino que pode ser oferecido a eles (Costa Júnior *et al.*, 2023).

O ChatGPT (do inglês, *chat generative pre-trained transformer*), criado pela empresa OpenAI e disponibilizado em novembro de 2022, é um assistente de IA capaz de responder perguntas e redigir textos ou códigos de computadores em diversos formatos, no qual o usuário interage digitando no campo de entrada o comando desejado para que o *chat* execute (Anders, 2023; Brown, 2023). Vale ressaltar que essa ferramenta funciona a partir de algoritmos de Aprendizado de Máquina (*machine learning*) e que foi construída com base na Engenharia de Prompt (*prompt engineering*), ou seja, as instruções, perguntas ou incitações que são fornecidas ao *chat*, fazem com que este seja treinado e, posteriormente, gere textos e respostas melhores (Brown, 2023; John, 2023).

O emprego do ChatGPT no ensino pode corroborar para a aprendizagem dos estudantes, sendo útil para dar suporte à pesquisas e obter informações da literatura. Entre os benefícios apresentados pela ferramenta tem-se a possibilidade de os estudantes sanar dúvidas no momento em que for mais oportuno devido à disponibilidade 24 horas. Além da disponibilidade, pode ser útil para correções automatizadas e soluções de exercícios, obtenção de resumos de textos e livros disponíveis na literatura, entre outras (Guimarães *et al.*, 2023).

Com as inúmeras possibilidades que o ChatGPT oferece, e pela sua acessibilidade, se faz necessário realizar estudos sobre a utilização desta ferramenta na área do ensino, já que muitos estudantes poderão recorrer a esta ferramenta para potencializar seu aprendizado em disciplinas que tenham dificuldade, como o caso da Química em que normalmente os estudantes demonstram dificuldades de relacionar alguns conceitos. Ainda que o ChatGPT possa potencializar os processos de ensino e aprendizagem, é indispensável verificar a coerência das respostas obtidas no *chat* para os estudantes.

Alguns trabalhos que discutem o uso dessa IA no Ensino de Química já foram realizados, especialmente por autores estrangeiros. Clark (2023) buscou compreender a aptidão do ChatGPT na elaboração de respostas sobre exercícios de Química. Para isso, o autor selecionou algumas questões, que

são aplicadas em exames nos cursos de Química Geral de uma universidade estadual americana e solicitou ao *chat* que as respondesse. Vale destacar que as questões selecionadas pelo autor, envolviam conceitos de titulação e estequiometria de reações químicas, por exemplo. Seus testes resultaram na seguinte conclusão: embora o ChatGPT consiga interpretar as questões de Química, a IA, algumas vezes, propõe soluções incorretas, omite informações e comete equívocos. Para Clark (2023):

Essas deficiências colocam o desempenho do sistema abaixo de um estudante médio de Química geral e tornam o ChatGPT inadequado para concluir as tarefas dos alunos fornecendo explicações precisas. No entanto, essas mesmas deficiências podem apoiar tarefas nas quais os alunos analisam e melhoram a saída do chatbot corrigindo erros, fornecendo informações adicionais, e demonstrando sua compreensão sobre o tópico. (Clark, 2023, p. 1913, tradução nossa).

Emenike e Emenike (2023), por exemplo, promoveram uma discussão acerca dos benefícios e riscos causados pelo uso do ChatGPT por estudantes de Química e professores de Química, bem como químicos (possivelmente atuantes em indústrias). Para as autoras, essa IA e seus semelhantes causam preocupações no que diz respeito ao plágio e aprendizado dos alunos, visto que são muito mais do que uma ferramenta de aprendizagem. As referidas pesquisadoras concluíram que os textos gerados por IA podem ser utilizados como sendo algo complementar, para tanto, é necessária uma reflexão sobre como será utilizado durante as aulas.

Exintaris, Karunaratne e Yuriev (2023) realizaram uma pesquisa junto a alunos do curso de Bacharelado em Ciências Farmacêuticas de uma universidade pública da Austrália. Nesta pesquisa em questão, os alunos participaram de uma atividade extracurricular denominada “Abordagens metacognitivas estratégicas para resolução de problemas de Química”, na qual podiam utilizar o ChatGPT para solucionar um problema de Química. Vale ressaltar que os problemas disponibilizados aos alunos envolviam conceitos químicos como: concentração de soluções, volume molar de gases e número de mols. Os autores constataram que as respostas fornecidas pelo *chat* podem conter erros, todavia, com o passar do tempo, essa IA, assim como as outras, pode ficar melhor.

Visando compreender se o ChatGPT era capaz de gerar respostas concisas para questões de avaliações de Química, bem como averiguar a qualidade dessas respostas e a similaridade das mesmas frente ao uso de diferentes contas no *chat*, Fergus, Botha e Ostovar (2023) selecionaram questões presentes em exames no curso de Ciências Farmacêuticas de uma universidade no Reino Unido e, solicitaram ao *chat* que as respondesse. Os autores concluíram que, no geral, as respostas são bem redigidas, todavia, a qualidade dessas respostas variou nos testes. Além disso, o *chat* apresentou limitações nas respostas de questões que continham informações não textuais. Visto os resultados que obtiveram, os autores propõem que professores de Química revejam a forma na qual implementam suas avaliações, visando conter o plágio nas respostas dos alunos.

Ainda nessa vertente, Humphry e Fuller (2023) buscaram utilizar o ChatGPT para escrever as discussões de um relatório de laboratório. Para os autores, a utilização do *chat* em tarefas semelhantes a essa é cabível, no entanto, destacam a necessidade de os alunos compreenderem os conceitos químicos

que requerem a discussão pela IA. Segundo os pesquisadores, isso se faz necessário para “[...] saber como fazer a pergunta apropriada, e então analisar a saída (resposta) do ChatGPT” (Humphry; Fuller, 2023, p. 1435, tradução nossa).

Visto isso, o presente trabalho tem por objetivo verificar a potencialidade desta ferramenta na resolução de exercícios de Química presentes em livros didáticos. Tem-se por objetivos específicos: (a) analisar as respostas fornecidas pela IA nos exercícios de livros didáticos envolvendo cálculos estequiométricos, e (b) observar se as respostas obtidas pelo ChatGPT estão corretas para serem acessadas por leigos fora da comunidade química, especialmente alunos da Educação Básica.

DELINEAMENTO METODOLÓGICO

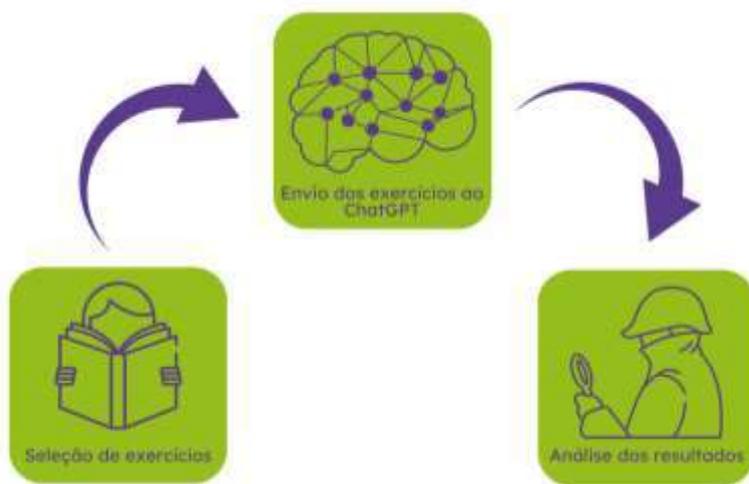
Este presente estudo possui caráter qualitativo e busca através do uso do ChatGPT, solicitar resoluções de exercícios de Química referentes à temática cálculos estequiométricos, a fim de analisar a veracidade das respostas fornecidas pela IA. Vale destacar que o livro escolhido para seleção dos exercícios foi o *Química*, 2ª edição, do 2º ano Ensino Médio, escrito por Martha Reis e publicado pela Editora Ática (Reis, 2016). A escolha do livro se deu pela ampla utilização deste pelos professores da Educação Básica, bem como ter sido aprovado no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) em 2018.

O caráter qualitativo deste trabalho se deve ao fato de que os dados coletados foram predominantemente descritivos e a preocupação com o processo foi muito maior do que com o produto. Segundo Lüdke e André (2018, p. 13), em pesquisas qualitativas, os pesquisadores devem atentar-se “[...] para o maior número possível de elementos presentes na situação estudada [...]”, bem como verificar de que forma o problema investigado se manifesta nas atividades e nos procedimentos adotados.

No que diz respeito ao tipo de pesquisa, este estudo enquadra-se como uma pesquisa exploratória, visto que pesquisas desse tipo são realizadas quando objetiva-se examinar um problema ou tema ainda pouco estudado. Para Sampieri, Collado e Lucio (2013), para ser considerado esse tipo de pesquisa, o tema escolhido deve ser aquele do qual se tem muitas dúvidas, ou até mesmo, que não tenha sido abordado em estudos anteriores. A escolha desse tipo de pesquisa se deve à escassez de trabalhos na literatura sobre o uso do ChatGPT no Ensino de Química, visto que essa IA é relativamente nova.

Três etapas foram realizadas para a estruturação deste estudo, que por sua vez, estão representadas no esquema a seguir:

Figura 1 - Esquema do percurso metodológico adotado no estudo.



Fonte: Os autores.

Como pode se observar na Figura 1, as etapas adotadas foram: 1) seleção de exercícios, 2) envio dos exercícios ao ChatGPT e 3) análise dos resultados. Na primeira etapa, selecionou-se do livro didático já citado, quatro exercícios sobre cálculos estequiométricos. Esses exercícios foram selecionados com base no grau de dificuldade, sob a ótica dos autores (dois exercícios mais simples e dois exercícios mais complexos). Posteriormente a essa etapa, realizou-se o envio dos exercícios selecionados ao ChatGPT, ou seja, copiou-se os enunciados dos exercícios e os colou no *chat*. Por fim, analisou-se as resoluções apresentadas pela IA. Ressalta-se que as respostas fornecidas pelo ChatGPT foram copiadas e coladas em quadros para se ter uma melhor organização dos dados (*vide a seção Resultados e Discussão*).

Ademais, cabe salientar que os procedimentos metodológicos adotados são semelhantes aos presentes no trabalho realizado por Clark (2023), autor já citado anteriormente na seção *Introdução*. De forma resumida, o autor utilizou o ChatGPT para responder às perguntas de exames finais aplicados em dois cursos de Química Geral e, posteriormente, analisou as respostas fornecidas pelo *chat*. O estudo tinha como objetivo compreender a aptidão da IA no fornecimento de respostas e explicações confiáveis sobre exercícios de Química.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo a definição do próprio livro utilizado para selecionar as questões, as substâncias reagem para formar produtos em uma proporção específica. O cálculo estequiométrico é utilizado com a finalidade de determinar a quantidade de reagentes consumidos e, conseqüentemente, de produtos obtidos através de uma equação química. As fórmulas necessitam satisfazer a lei da conservação da massa (Lavoisier) e a lei das proporções constantes (Proust), pelo balanceamento estequiométrico igualando-se o número de átomos nos dois termos da equação. O cálculo baseia-se nos coeficientes da equação química

corretamente balanceada com a relação de proporcionalidade entre a quantidade de matéria (n) e a constante de Avogadro ($6,022 \cdot 10^{23}$), que mensura o número de partículas elementares (Reis, 2016).

Os estudantes, desde o primeiro contato com este conteúdo, são ensinados que o primeiro passo em exercícios que envolvam reações químicas é verificar se os coeficientes estequiométricos estão corretos (mesmo que não esteja especificado no enunciado). De acordo com Tyson (2023, p. 2, tradução nossa): “O primeiro problema é que o ChatGPT é inútil em matemática [...] O segundo problema [...] é que ele inventa coisas. Mas, ao contrário dos átomos, que compõem tudo, o ChatGPT cria coisas apenas algumas vezes”. Esses problemas foram visualizados em alguns dos exercícios escolhidos. As resoluções do *chat* estão expostas nos quadros 1, 2, 3 e 4 a seguir e envolvem cálculos relacionados ao número de moléculas e as massas.

Vale ressaltar que as equações apresentadas no decorrer dos resultados pelo ChatGPT estão todas em texto normal pois o próprio, mesmo que no comando as reações estejam com os números e estados físicos subscritos, automaticamente converte para texto normal, impossibilitando a escrita da forma quimicamente correta.

Quadro 1 - Questão 1 envolvendo cálculo de massa e a resposta fornecida pelo ChatGPT.

Questão e Resposta
<p>Q1: Qual a massa de O₂(g) necessária para queimar completamente 161 g de etanol, C₂H₆O(l)?</p> <p>R: Para determinar a massa de O₂(g) necessária para queimar completamente 161 g de etanol (C₂H₆O), primeiro, precisamos escrever e equilibrar a equação química da reação de combustão do etanol.</p> <p>A equação balanceada para a combustão completa do etanol é a seguinte:</p> $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}(\text{l}) + 3 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{CO}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ <p>A partir da equação balanceada, podemos ver que 1 mol de etanol (C₂H₆O) reage com 3 mol de O₂(g) para produzir 2 mol de CO₂(g) e 3 mol de H₂O(g).</p> <p>Agora, vamos calcular a quantidade de O₂(g) necessária para queimar 161 g de etanol (C₂H₆O).</p> <p>Passo 1: Calcular a quantidade de mols de etanol (C₂H₆O)</p> <p>Massa molar do etanol (C₂H₆O) = 2 * massa molar de C + 6 * massa molar de H + 1 * massa molar de O</p> <p>Massa molar do etanol (C₂H₆O) = 2 * 12.01 g/mol + 6 * 1.01 g/mol + 1 * 16.00 g/mol</p> <p>Massa molar do etanol (C₂H₆O) = 46.07 g/mol</p> <p>Mols de etanol (C₂H₆O) = massa de etanol / massa molar do etanol</p> <p>Mols de etanol (C₂H₆O) = 161 g / 46.07 g/mol</p> <p>Mols de etanol (C₂H₆O) ≈ 3.493 mol</p> <p>Passo 2: Calcular a quantidade de mols de O₂(g) necessária para reagir com o etanol</p> <p>A partir da equação química balanceada, sabemos que 1 mol de etanol reage com 3 mols de O₂(g).</p> <p>Mols de O₂(g) = 3 * mols de etanol</p> <p>Mols de O₂(g) ≈ 3 * 3.493 mol</p>

Mols de O₂(g) ≈ 10.48 mol

Passo 3: Calcular a massa de O₂(g) necessária

Massa molar do O₂(g) = 2 * massa molar de O

Massa molar do O₂(g) = 2 * 16.00 g/mol

Massa molar do O₂(g) = 32.00 g/mol

Massa de O₂(g) necessária = mols de O₂(g) * massa molar do O₂(g)

Massa de O₂(g) necessária = 10.48 mol * 32.00 g/mol

Massa de O₂(g) necessária ≈ 335.36 g

Portanto, a massa de O₂(g) necessária para queimar completamente 161 g de etanol (C₂H₆O) é aproximadamente 335,36 gramas.

Fonte: Os autores.

A Questão 1 envolve cálculos relacionados ao número de massa e o ChatGPT a responde corretamente. Como a reação química balanceada não é fornecida no enunciado, a IA fornece a equação da combustão completa do etanol assim como os dados da massa molar dos reagentes e produtos envolvidos. O desenvolvimento dos passos e a sequência apresentada são adequados e correspondem ao procedimento padrão encontrado nos livros didáticos que abordam conteúdos da Química. Somado a isso, há o uso de uma linguagem simples, que o aluno consegue entender resultando em menos erros comuns (como não balancear a equação) (Clark, 2023).

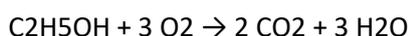
Em concordância com Clark (2023), verifica-se que o *chat* é bem-sucedido na conceituação de problemas, ou seja, ele identifica corretamente a natureza da questão na maioria dos casos. Contudo, em questões numéricas, o sucesso do ChatGPT apresenta-se baixo na geração de uma estratégia apropriada para a resolução quando comparado a questões não numéricas. Isso pode ser observado na questão 2 do quadro abaixo.

Quadro 2 - Questão 2 envolvendo cálculo de quantidade de moléculas e a resposta fornecida pelo ChatGPT.

Questão e Resposta

Q2: Quantas moléculas de gás oxigênio são consumidas na combustão de 5 mol de álcool etílico?

R: Para responder a essa pergunta, primeiro precisamos conhecer a equação balanceada da combustão do álcool etílico (etanol). A equação balanceada é a seguinte:



A equação nos mostra que para cada molécula de álcool etílico (C₂H₅OH) queima, são necessárias 3 moléculas de oxigênio (O₂). Assim, a proporção entre álcool e oxigênio é de 1:3.

Se você tem 5 mols de álcool etílico, pode calcular a quantidade de moléculas de oxigênio consumidas na combustão da seguinte maneira:

Mols de oxigênio = 5 mols de álcool etílico * 3 mols de oxigênio/mol de álcool etílico

Mols de oxigênio = 15 mols de oxigênio

A combustão de 5 mols de álcool etílico consome 15 mols de oxigênio.

Fonte: Os autores.

Assim como na Questão 1, o *chat* fornece a reação química já balanceada para a realização dos cálculos através dos coeficientes estequiométricos. A forma apresentada também é compatível com os exercícios resolvidos encontrados em livros ou através das resoluções que outros indivíduos compartilham na internet e que podem ser encontradas com facilidade através de uma simples pesquisa.

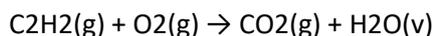
Entretanto, diferente da questão anterior, o *chat* não responde corretamente o que lhe foi perguntado, pois a pergunta envolve o número de moléculas, sendo necessário mais um passo na resolução com a multiplicação do número de mols pela constante de Avogadro. Percebe-se que ocorreu uma confusão em relação à definição do número de moléculas e número de mols. Segundo Clark (2023), talvez para um aluno com contato recente com o conteúdo, a explicação do ChatGPT seja suficiente, mas interpretando-se da maneira correta, fica evidente que o *chat* cometeu um erro ao não realizar o último passo.

Ao modificar a questão e acrescentar “Número de Avogadro = $6 \cdot 10^{23}$ ” após a pergunta, o *chat* dessa vez responde corretamente, até mesmo citando que deve ser usado o valor fornecido no enunciado do número de Avogadro. Tyson (2023) entende que a dificuldade do ChatGPT envolve especialmente as conversões de unidades e a manipulação de números em formato científico. Além disso, apesar de apresentar corretamente as equações balanceadas nos exercícios anteriores, já que elas não estavam disponíveis nas questões 3 e 4, apresentadas na sequência, nota-se um problema crítico em balancear equações já disponíveis nos enunciados.

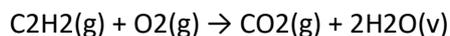
Quadro 3 - Questão 3 envolvendo cálculo de quantidade de moléculas e a resposta fornecida pelo ChatGPT.

Questão e Resposta
<p>Q3: O acetileno (etino) é um gás incolor de odor agradável que queima a temperaturas elevadas e é usado em maçaricos. Faça o balanceamento da equação de combustão do acetileno</p> $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{v})$ <p>a) Quantas moléculas de água, $\text{H}_2\text{O}(\text{v})$, são obtidas na queima completa do acetileno, $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$, ao serem consumidas $3,0 \cdot 10^{24}$ moléculas de gás oxigênio, $\text{O}_2(\text{g})$?</p> <p>b) Quantas moléculas de gás carbônico, $\text{CO}_2(\text{g})$, são formadas na queima total de $2,4 \cdot 10^{23}$ moléculas de acetileno, $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$?</p>

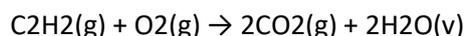
R: Para balancear a equação de combustão do acetileno, $C_2H_2(g)$, primeiro, verificamos quantos átomos de carbono e hidrogênio estão presentes em ambos os lados da equação:



No lado esquerdo da equação, temos 2 átomos de carbono e 2 átomos de hidrogênio. No lado direito, temos 1 átomo de carbono e 2 átomos de hidrogênio. Portanto, adicionamos um coeficiente 2 na frente do $H_2O(v)$:



Agora, o número de átomos de hidrogênio está equilibrado. Porém, o número de átomos de carbono ainda não está igual. Precisamos adicionar um coeficiente 2 na frente do $CO_2(g)$:



Agora, a equação está balanceada.

a) Na queima completa do acetileno, $C_2H_2(g)$, cada molécula de acetileno consome 1 molécula de O_2 e produz 2 moléculas de CO_2 e 2 moléculas de H_2O . Portanto, se forem consumidas $3,0 \times 10^{24}$ moléculas de O_2 , serão produzidas o dobro de moléculas de CO_2 e H_2O . Assim, serão obtidas $2 \times 3,0 \times 10^{24} = 6,0 \times 10^{24}$ moléculas de H_2O .

b) Na queima total de 1 molécula de acetileno, são formadas 2 moléculas de CO_2 . Portanto, se forem queimadas $2,4 \times 10^{23}$ moléculas de acetileno, serão formadas o dobro de moléculas de CO_2 . Assim, serão formadas $2 \times 2,4 \times 10^{23} = 4,8 \times 10^{23}$ moléculas de CO_2 .

Fonte: Os autores.

Como é possível observar no quadro 3, a equação do enunciado não está balanceada e o *chat*, na tentativa de balanceá-la, leva em consideração somente os átomos de carbono e hidrogênio, pois são esses os dois elementos que compõem o acetileno (C_2H_2). Ao balancear a equação, o ChatGPT não analisou a quantidade correta de mols de oxigênio e, mesmo que o número de carbono e hidrogênio estejam balanceados (2 e 4 respectivamente), ao ignorar o oxigênio, há um desequilíbrio na proporção com uma menor quantidade de átomos de oxigênio nos reagentes (2 versus 6 nos produtos).

O balanceamento correto ($2 C_2H_2(g) + 5 O_2(g) \rightarrow 4 CO_2(g) + 2 H_2O(v)$) fornece a proporção de 2 mols de água (H_2O) para cada 5 mols de gás oxigênio (O_2) consumidos. Logo, a resposta correta do item a) é $1,2 \cdot 10^{24}$ moléculas de H_2O . No item b) o chat responde corretamente, pois a proporção apresentada entre a queima de 1 mol de C_2H_2 formando 2 mols de gás carbônico (CO_2) é a mesma proporção da queima de 2 mols de C_2H_2 para 4 mols de CO_2 , o dobro.

Corroborando com o dito por Emenike e Emenike (2023), não é fácil ao sistema que ele corrija ou perceba seu erro. Neste caso, foi adicionado a questão 3 o seguinte texto: "Faça o balanceamento da equação de combustão do acetileno e responda às questões abaixo". O *chat* novamente balanceou a equação de maneira incorreta e ainda, o balanceamento é diferente do apresentado pelo próprio *chat* anteriormente ($C_2H_2(g) + 2.5 O_2(g) \rightarrow 2 CO_2(g) + H_2O(v)$). Novamente, ele errou o item a) e somente

acertou o item b), pois as proporções não mudaram entre C_2H_2 e CO_2 (1:2). Ainda segundo os autores citados anteriormente, os alunos podem utilizar essa ferramenta como um auxílio, mas não há possibilidade (ao menos imediata), de IA substituir o auxílio do professor ou de tutores em Química.

Outra questão testada foi a questão 4 apresentada no quadro 4, na qual o *chat* responde corretamente pois a equação já está balanceada.

Quadro 4 - Questão 4 envolvendo cálculo de massa e a resposta fornecida pelo ChatGPT.

Questão e Resposta
<p>Q4: As máscaras de oxigênio utilizadas em aviões contêm superóxido de potássio, KO_2 sólido. Quando a máscara é usada, o superóxido reage com o CO_2 exalado pela pessoa e libera O_2, necessário à respiração, segundo a equação química balanceada:</p> $4 KO_2(s) + 2 CO_2(g) \rightarrow 2 K_2CO_3(s) + 3 O_2(g)$ <p>Calcule, dado volume molar dos gases (CNTP) = 22,4 L, massa de KO_2, expressa em gramas, necessária para reagir com 0,10 mol de CO_2.</p> <p>R: Para calcular a massa de KO_2 necessária para reagir com 0,10 mol de CO_2, primeiro precisamos determinar a proporção entre as duas substâncias na equação química balanceada.</p> <p>Na equação, observamos que 4 mols de KO_2 reagem com 2 mols de CO_2. Portanto, a proporção molar é de 4:2 ou 2:1.</p> <p>Isso significa que para cada 2 mols de CO_2, precisamos de 4 mols de KO_2. Como temos 0,10 mol de CO_2, precisaremos de metade dessa quantidade de KO_2.</p> $0,10 \text{ mol } CO_2 \times (4 \text{ mol } KO_2 / 2 \text{ mol } CO_2) = 0,20 \text{ mol } KO_2$ <p>Agora que temos a quantidade em mols de KO_2 necessária, podemos converter para a massa em gramas. Para isso, precisamos conhecer a massa molar do KO_2.</p> <p>A massa molar do KO_2 é a soma das massas atômicas de cada elemento presente:</p> <p>K: 39,10 g/mol O: 16,00 g/mol (há dois átomos de oxigênio)</p> $\text{Massa molar do } KO_2 = (1 \times 39,10 \text{ g/mol}) + (2 \times 16,00 \text{ g/mol}) = 39,10 \text{ g/mol} + 32,00 \text{ g/mol} = 71,10 \text{ g/mol}$ <p>Agora podemos calcular a massa de KO_2:</p> $\text{Massa de } KO_2 = \text{quantidade de mols} \times \text{massa molar}$ $\text{Massa de } KO_2 = 0,20 \text{ mol} \times 71,10 \text{ g/mol} = 14,22 \text{ g}$ <p>Portanto, a massa de KO_2 necessária para reagir com 0,10 mol de CO_2 é de aproximadamente 14,22 gramas.</p>

Fonte: Os autores.

Para testar a efetividade do balanceamento, foram realizados dois testes com a equação sem os coeficientes estequiométricos. No primeiro teste não foi informado que a equação estava não balanceada e no segundo foi identificada a equação como “reação não balanceada”. No primeiro teste, o *chat* não balanceou a equação, utilizando a proporção 1:1 da equação não balanceada e no segundo teste, mesmo o balanceamento sendo o primeiro passo da resolução apresentada, foi realizado de forma equivocada ($2 \text{ KO}_2(\text{s}) + 2 \text{ CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3(\text{s}) + 3 \text{ O}_2(\text{g})$), fornecendo, portanto, o resultado incorreto novamente.

Infere-se que o ChatGPT resolverá corretamente as questões envolvendo balanceamento caso a equação não esteja presente ou caso o balanceamento for realizado antes da questão ser colocada no *chat*. Assim como um assistente de IA, o ChatGPT é uma ferramenta potencialmente promissora para responder e explicar problemas envolvendo conceitos químicos. Contudo, seu uso deve ser uma junção entre o algoritmo e o pensamento humano devido às limitações envolvendo raciocínio e resolução de problemas que envolvem vários conceitos ou alguma solução criativa (Clark, 2023).

Em um debate sobre o ChatGPT entre os autores, surgiu uma inquietação quanto a utilização dessa ferramenta no Ensino de Química. Ao ser questionado sobre isso, o *chat* forneceu algumas formas de uso para aprimorar o aprendizado nesta área como a explicação de conceitos, resolução de problemas, tutoria personalizada, exemplos e aplicações práticas, acesso rápido às informações e estímulo à curiosidade. Especialmente na resolução de problemas, o *chat* apresentou a resposta observada no quadro 5 somado a uma interessante observação no final da resposta.

Quadro 5 - Questão 4 e o fragmento final fornecido pelo ChatGPT.

Questão e Resposta
<p>Q5: Como o ChatGPT auxilia no Ensino de Química?</p> <p>R: [...]</p> <p>2. Resolução de problemas: O ChatGPT pode ajudar os estudantes a resolver problemas de química, tanto fornecendo etapas detalhadas para resolver problemas específicos quanto oferecendo dicas e orientações para resolver questões desafiadoras.</p> <p>[...]</p> <p>É importante notar que, embora o ChatGPT possa ser uma ferramenta útil no ensino de química, ele não deve ser considerado como um substituto para a orientação de um professor ou para outras fontes de conhecimento confiáveis. Além disso, como modelo de linguagem, ele pode não estar atualizado com os avanços mais recentes da química após a data de seu treinamento (setembro de 2021).</p>

Fonte: Os autores.

Como visto, o próprio *chat* não se considera autossuficiente e reforça a presença de um professor para auxiliar os alunos. Além disso, ao citar “fontes de conhecimento confiáveis”, insinua-se que as informações que a IA apresenta podem não ser confiáveis, de procedência duvidosa. A IA não pode substituir a interação humana e a empatia dos professores, que são essenciais para o sucesso dos estudantes. Além disso, a utilização da IA na educação pode apresentar questões éticas, como o uso

indevido dos dados dos estudantes e a criação de sistemas de vigilância excessiva (Costa Júnior *et al.*, 2023).

Portanto, o ChatGPT (assim como as novas formas de IA) é uma ferramenta auxiliadora, que não irá substituir o professor e deve ser coadjuvante no processo de ensino, especialmente em relação aos alunos que não possuem o discernimento de averiguar se a resposta está correta ou não.

CONCLUSÕES

É observado que as TD têm ganhado mais espaço dentro dos ambientes escolares, e o uso destas ferramentas suplementa os processos de ensino e aprendizagem, permitindo que os estudantes que têm acesso à elas compreendam conceitos abstratos e distantes de suas realidades de forma interativa. Atualmente, são muitas TD que favorecem o Ensino de Química, como o uso de simuladores, aplicativos e *softwares*, e mais recentemente a IA por meio de assistentes como o ChatGPT. É fundamental o apoio destas ferramentas para auxiliar os estudantes, uma vez que a Química apresenta conceitos abstratos, e também, necessita do suporte matemático em diversos conteúdos, o que pode ser visto como uma dificuldade.

O ChatGPT possui funcionalidades que permitem ao usuário obter informações por meio de um processamento de dados de IA, o qual simula a interação com uma pessoa. Desta forma, pesquisas vêm sendo realizadas sobre o uso do ChatGPT para auxiliar estudantes a sanar dúvidas e resolver exercícios de conteúdos da Química. Este trabalho teve como intuito observar se o ChatGPT responde corretamente aos exercícios de Química selecionados, bem como averiguar se as respostas fornecidas pelo *chat* são acessíveis para usuários externos à comunidade química.

Foi solicitado que o *chat* respondesse quatro questões retiradas de um livro didático de Química do Ensino Médio. Observou-se que o *chat*, embora tenha a promessa de responder de forma inteligente reunindo dados, o mesmo demonstrou certas limitações. Entre as limitações, ao escrever as equações químicas, não foi possível redigir de forma correta, visto que as quantidades de átomos das moléculas deveriam ficar formatadas em subscrito, respeitando a linguagem química, o que foi impossibilitado pelo *chat* deixando em fontes normais de texto.

Além da limitação de escrita do ChatGPT, também foi observado que na resolução dos exercícios, o *chat* apresentava algumas dificuldades nas relações matemáticas existentes e os balanceamentos químicos das equações ficaram incorretos. Supõe-se que o erro no balanceamento das equações se deve ao fato de o *chat* ser seletivo e considerar apenas os átomos das moléculas das quais deseja se obter a informação solicitada no enunciado. Exercícios em que não precisavam do balanceamento foram executados pelo *chat*.

Cabe salientar que ao questionar o ChatGPT sobre sua utilidade no Ensino de Química, o mesmo respondeu que é uma ferramenta que pode auxiliar alunos e professores na resolução de problemas e demonstrando as etapas detalhadas, porém, o próprio afirma não ser um substituto do professor. Embora

a promessa das TD, e mais recentemente a IA, seja de revolucionar o ensino e o papel do professor, observa-se que este ainda não pode ser substituído por nenhuma máquina.

Por fim, conclui-se que o ChatGPT utiliza linguagem simples e de fácil entendimento, destacando-se os passos das resoluções dos problemas. Entretanto, no que diz respeito aos exercícios de Química da temática cálculos estequiométricos, o *chat* não é uma ferramenta indicada aos alunos da Educação Básica que possuem pouco ou nenhum contato com conhecimentos químicos específicos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro. Os autores declaram não haver qualquer potencial conflito de interesse que possa interferir na imparcialidade deste trabalho científico.

REFERÊNCIAS

ANDERS, Brent. **ChatGPT AI in Education What it is and How to Use it in the Classroom**. Canadá: Sovorel, 2023.

ARAYA, Ana Maria Osório; GIBIN, Gustavo Bizarria; SOUZA FILHO, Moacir Pereira de. Uma introdução às Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação no ensino de Ciências. *In*: ARAYA, Ana Maria Osório; GIBIN, Gustavo Bizarria; SOUZA FILHO, Moacir Pereira de (orgs.). **O ensino de Ciências e as Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC)**: pesquisas desenvolvidas na educação básica. São Paulo: Editora Unesp, 2021. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/cwcpz>. Acesso em: 09 nov. 2023.

BROWN, Christian. **ChatGPT prompts mastering**: a guide to mastering effective prompts. United States of America: First Printing Edition, 2023.

CLARK, Ted M. Investigating the Use of an Artificial Intelligence Chatbot with General Chemistry Exam Questions. **Journal Of Chemical Education**, Washington, v. 100, n. 5, p. 1905-1916, 2023. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acs.jchemed.3c00027>. Acesso em: 20 jul. 2023.

COSTA JÚNIOR, João Fernando; LIMA, Uilliane Faustino de; LEME, Mário Domingos; MORAES, Leonardo Silva; COSTA, Jonas Bezerra da; BARROS, Diogo Magalhães de; AMORIM, Maria Aparecida de Moura Amorim; OLIVEIRA, Luis Carlos Ferreira de. A inteligência artificial como ferramenta de apoio no ensino superior. **Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem**, Rio Largo, v. 6, p. 246-269, 2023. Disponível em: <https://rebena.emnuvens.com.br/revista/article/view/111/101>. Acesso em: 20 jul. 2023.

EMENIKE, Mary E.; EMENIKE, Bright U. Was This Title Generated by ChatGPT?: considerations for artificial intelligence text-generation software programs for chemists and chemistry educators. **Journal of Chemical Education**, Washington, v. 100, n. 4, p. 1413-1418, 2023. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.3c00063>. Acesso em: 24 jul. 2023.

EXINTARIS, Betty; KARUNARATNE, Nilushi; YURIEV, Elizabeth. Metacognition and critical thinking: using ChatGPT-Generated Responses as Prompts for critique in a problem-solving workshop (SMARTCHEMPer). **Journal of Chemical Education**, Washington, v. 100, n. 8, p. 2972-2980, 2023. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.3c00481>. Acesso em: 25 jul. 2023.

FERGUS, Suzanne; BOTHA, Michelle; OSTOVAR, Mehrnoosh. Evaluating academic answers generated using ChatGPT. **Journal of Chemical Education**, Washington, v. 100, n. 4, p. 1672-1675, 2023. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.3c00087>. Acesso em: 25 jul. 2023.

GUIMARÃES, Ueudison Alves; BRANDÃO, Conceição Aparecida; DAITX, Mariele Apolinário; DUTRA, Anne Frank Gomes de Arruda; LOPES, Vanessa Robbi Bubula. As mídias digitais no campo educacional: um olhar pelas aplicações do chat GPT na educação. **Revista Científica Multidisciplinar**, Jundiaí, v. 4, n. 7, p. e473556-e473556, 2023. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/3556>. Acesso em: 18 jul. 2023.

HUMPHRY, Tim; FULLER, Amy L. Potencial ChatGPT use in undergraduate chemistry laboratories. **Journal of Chemical Education**, Washington, v. 100, n. 4, p. 1434-1436, 2023. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.3c00006>. Acesso em: 24 jul. 2023.

JOHN, Ibrahim. **The art of asking ChatGPT for high-quality answers**: a complete guide to prompt engineering techniques. United States of America: Zunda Technologies Limited, 2023.

LEITE, Bruno Silva. Tecnologias no ensino de química: passado, presente e futuro. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v. 1, n. 3, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/2570/1476>. Acesso em: 20 jul. 2023.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli. **Pesquisa em educação**: abordagens qualitativas. Rio de Janeiro: E.P.U., 2018.

MORAN, José. **A educação que desejamos**: novos desafios e como chegar lá. 5. ed. Campinas: Papirus, 2012.

MORAN, José. Ensino e aprendizagem inovadores com apoio de tecnologias. *In*: MORAN, José; MASETTO, Marcos; BAHRENS, Marilda Aparecida (orgs.). **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. Campinas: Papirus, 2013.

PAULETTI, Fabiana; MENDES, Michel; ROSA, Marcelo Prado Amaral; CATELLI, Francisco. Ensino de química mediado por tecnologias digitais: o que pensam os professores brasileiros? **Revista Interações**, Santarém, v. 13, n. 44, 2017. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/interaccoes/article/view/9820>. Acesso em: 18 jul. 2023.

REIS, Martha. **Química**. São Paulo: Ática, 2016.

SAMPIERI, Roberto Hernandez; COLLADO, Carlos Fernández; LUCIO, María del PilarBaptista. **Metodologia de pesquisa**. Porto Alegre: Penso, 2013.

TYSON, Julian. Shortcomings of ChatGPT. **Journal of Chemical Education**, Washington, v. 100, n. 8, p. 3098-3101, 2023. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.3c00361>. Acesso em: 24 jul. 2023.

ZAWACKI-RICHTER, Olaf; MARÍN, Victoria I.; BOND, Melissa; GOUVERNEUR, Franziska. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education - where are the educators? **International Journal of Educational Technology in Higher Education**, v. 16, n. 1, p. 1-7, 2019. Disponível em: <https://educationaltechnologyjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s41239-019-0171-0>. Acesso em: 19 jul. 2023.

Submetido: 04/08/2023
Correções: 08/08/2023
Aceite Final: 21/09/2023