



ChatGPT NO ENSINO DE QUÍMICA: ANÁLISE DAS EXPLICAÇÕES SOBRE ÁCIDOS E BASES PARA O NOVO ENSINO MÉDIO E ENSINO SUPERIOR

Elisson Olczewski¹

<https://orcid.org/0009-0007-3433-0955>

Renato Marcondes²

<https://orcid.org/0000-0002-8018-1985>

Larissa Sens³

<https://orcid.org/0000-0003-2404-3817>

RESUMO:

O presente artigo analisa o desempenho do ChatGPT (versão GPT-3.5 gratuita) na geração de conteúdos sobre ácidos e bases voltados ao Novo Ensino Médio (NEM) e ao Ensino Superior (ES). A pesquisa, de abordagem qualitativa, comparou respostas da IA com livros didáticos e literatura acadêmica, utilizando prompts elaborados com base no modelo TCI (Tarefa, Contexto e Instruções). Os resultados mostram que o ChatGPT adapta a linguagem ao público-alvo, mas comete erros conceituais e simplificações inadequadas, especialmente ao confundir teorias como Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis e Pearson. Conclui-se que, apesar de seu potencial como ferramenta pedagógica complementar, o uso do ChatGPT deve ser supervisionado por docentes para garantir a exatidão conceitual e favorecer uma aprendizagem crítica e significativa, sobretudo em conteúdos complexos da Química.

Palavras-chave:
Ensino de Ciências;
Tecnologias
Digitais; Inteligência
Artificial.

ChatGPT en la Enseñanza de la Química: análisis de las explicaciones sobre ácidos y bases para el Nuevo Bachillerato y la Educación Superior

RESUMEN:

El presente artículo analiza el desempeño de ChatGPT (versión gratuita GPT-3.5) en la generación de contenidos sobre ácidos y bases dirigidos al Nuevo Bachillerato (NEM) y a la Educación Superior (ES). La investigación, de enfoque cualitativo, comparó respuestas de la IA con libros de texto y literatura académica, utilizando prompts elaborados con base en el modelo TCI (Tarea, Contexto e Instrucciones). Los resultados muestran que ChatGPT adapta el lenguaje al público objetivo, pero comete errores conceptuales y simplificaciones inadecuadas, especialmente al confundir teorías como las de Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis y Pearson. Se concluye que, a pesar de su potencial como herramienta pedagógica complementaria, el uso de ChatGPT debe ser supervisado por docentes para garantizar la exactitud conceptual y favorecer un aprendizaje crítico y significativo, sobre todo en contenidos complejos de la Química.

Palabras-clave:
Enseñanza de
Ciencias;
Tecnologías
Digitales;
Inteligencia
Artificial.

ChatGPT in Chemistry Education: analysis of explanations about acids and bases for the New High School Curriculum and Higher Education

ABSTRACT:

This article analyzes the performance of ChatGPT (free GPT-3.5 version) in generating content on acids and bases aimed at Brazil's New High School Curriculum (NEM) and

Key words:

¹ Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, Ponta Grossa-PR, Brasil

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba-PR, Brasil

³ Instituto Federal do Espírito Santo (IFES), Vitória - ES, Brasil

Higher Education (HE). The qualitative research compared the AI's responses with textbooks and academic literature, using prompts based on the TCI model (Task, Context, and Instructions). The results show that ChatGPT adjusts its language to the target audience but makes conceptual errors and inappropriate simplifications, especially by confusing theories such as Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis, and Pearson. It is concluded that, despite its potential as a complementary pedagogical tool, the use of ChatGPT should be supervised by educators to ensure conceptual accuracy and promote critical and meaningful learning, especially in complex chemistry topics.

Science Teaching;
Digital
Technologies;
Artificial
Intelligence.

INTRODUÇÃO

O ensino de Química demanda o uso constante de representações e modelos científicos, que se articulam no modelo do tripé do conhecimento químico: macroscópico, submicroscópico e simbólico (Wartha & Rezende, 2016). A linguagem química é essencialmente representacional, construída a partir de símbolos e modelos que explicam fenômenos muitas vezes não observáveis diretamente, o que torna a compreensão dos conteúdos um desafio recorrente para os estudantes. Ainda que outras ciências também façam uso de modelos, a Química se distingue pela dependência de representações para comunicar seu conhecimento (Rodrigues & Machado, 2023). Nessa perspectiva, o processo de aprendizagem vai além da memorização, envolvendo a capacidade de aplicar conceitos de maneira significativa em diferentes contextos. Como destaca Zabala (1998), o estudante demonstra ter compreendido um conceito quando consegue utilizá-lo para interpretar, explicar ou comunicar fenômenos e situações diversas.

Dentre os diversos conteúdos contemplados no ensino de química, o tema de ácido-base ocupa posição central tanto no Novo Ensino Médio (NEM) quanto no Ensino Superior (ES), exigindo dos estudantes a articulação entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico, além da compreensão das representações envolvidas nesses níveis. As diferentes teorias como Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis e Pearson envolvem distintos modelos explicativos que demandam níveis de abstração dos estudantes para compreendê-los.

Diante desse desafio, recursos tecnológicos têm sido explorados como apoio ao ensino da Química. Segundo Coelho Neto *et al.* (2019) as Tecnologias Digitais (TD) surgem como ferramentas promissoras para apoiar o processo de ensino e aprendizagem, contribuindo para maior engajamento e compreensão por parte dos estudantes. Entre as inovações mais recentes, a Inteligência Artificial (IA) tem se destacado cada vez mais. Um exemplo é o ChatGPT, um sistema de Processamento de Linguagem Natural (PNL) desenvolvido pela OpenAI e lançado em novembro de 2022, alcançando, em dois meses, uma base de 100 milhões de usuários (Duque-Pereira & Arruda, 2023). Baseado na arquitetura *Generative Pre-trained Transformer* (GPT) e treinado para gerar texto de maneira semelhante à humana, o ChatGPT apresenta-se como uma ferramenta potencial para auxiliar no ensino e aprendizagem. Sua principal característica é a capacidade de gerar conteúdo ou ideia a partir de um texto fornecido pelo usuário "*prompt*" e realizar conversas em tempo real.

A versatilidade desta IA faz com que seja cada vez mais estudada para uma possível utilização no meio educacional. Segundo Trust *et al.* (2023, p. 4, tradução nossa) "o ChatGPT pode escrever praticamente qualquer coisa que um educador ou aluno peça" seja a criação de materiais didáticos, como planos de aula, objetivos de aprendizagem, orientações para atividades de aprendizagem, sugestões de discussão, perguntas de questionários e testes, rubricas para avaliação dentre outros. No entanto, pesquisas recentes apontam várias limitações, entre as mais comuns estão erros em cálculos matemáticos, referências falsas e a geração de conteúdo impreciso (Clark, 2023; Eminike & Eminike, 2023; West *et al.*, 2023). Além disso, há preocupações quanto ao uso da IA para práticas de plágio, com alunos utilizando o ChatGPT para concluir tarefas de forma indevida (Tlili *et al.*, 2023).

Além das questões técnicas, o uso da IA na educação também demanda um olhar crítico quanto ao seu papel na mediação do conhecimento. Conforme Freire (1982), o processo educativo deve ser dialógico, libertador e formador da criticidade. Segundo o autor "a educação libertadora, problematizadora, já não pode ser o ato de depositar, ou de narrar, ou de transferir, ou de transmitir 'conhecimentos' e valores aos educandos,

meros pacientes, à maneira da educação ‘bancária’, mas um ato cognoscente” (Freire, 1982, p. 78). A adoção de tecnologias como o ChatGPT sem mediação docente pode reforçar práticas automatizadas e não reflexivas, distanciando-se dos princípios da educação problematizadora. Nessa perspectiva “a função social do ensino ultrapassa a transmissão dos conhecimentos socialmente produzidos, para considerar os sentidos e significados do que é aprendido e o desenvolvimento de habilidades e atitudes que envolvem a dimensão do humano” (Ramos, 2013, p. 114).

Portanto, diante do crescente uso do ChatGPT por estudantes, notícias sobre seu potencial uso, como exemplificado pelo Estado de São Paulo, que planeja adotar IA para atualizar o material didático utilizado por professores (Freitas, 2024) e a escassez de estudos na literatura sobre o uso dessa tecnologia, reforçam a importância de avaliar sua capacidade de adaptação e utilização correta dos conceitos químicos, em diferentes níveis de ensino. Nesse sentido, o objetivo deste estudo é analisar a exatidão do conteúdo gerado pelo ChatGPT sobre os conceitos químicos ácido-base em diferentes níveis de ensino, envolvendo o NEM e o ES, bem como investigar a habilidade do ChatGPT em adaptar esse conteúdo para atender às necessidades educacionais de cada nível.

REFERENCIAL TEÓRICO

O avanço das TD tem promovido transformações significativas no campo educacional, introduzindo novas ferramentas e metodologias. No entanto, conforme destaca Leite (2019), há uma grande expectativa nas novas tecnologias e quais melhorias trarão para o processo de ensino e aprendizagem, entretanto, o impacto real dessas tecnologias depende não apenas de sua utilização, mas também de como elas serão integradas de forma a favorecer o aprendizado dos alunos.

Nesse contexto, foi desenvolvido o ChatGPT, uma das TD mais recentes. O ChatGPT, vai além de simplesmente recuperar informações preexistentes, pois é capaz de gerar respostas originais a partir de entradas fornecidas (*prompts*), sem depender de respostas pré-programadas. Sua arquitetura baseada em *Transformers* permite que o modelo considere diferentes partes de um texto ao gerar uma resposta, o que lhe confere a capacidade de gerar conteúdo coerente e contextualizado. O ChatGPT é treinado em grandes conjuntos de dados de texto, como páginas da web, livros ou artigos, o que lhe permite interpretar nuances linguísticas, metáforas e palavras com múltiplos significados. Além disso, incorpora um sistema de aprendizagem por reforço, em que o *feedback* humano contínuo aprimora sua capacidade de interagir de forma cada vez mais natural (Duque-Pereira & Arruda, 2023).

No entanto, é importante destacar que o desempenho do ChatGPT está sujeito a atualizações, o que compromete a estabilidade e a reprodutibilidade das respostas geradas ao longo do tempo. Conforme Adel *et al.*, (2024), devido à natureza rapidamente evolutiva da IA e dos grandes modelos de linguagem, as descobertas e recomendações apresentadas em estudos sobre essa tecnologia podem tornar-se obsoletas à medida que novas versões e aplicações surgem. Isso significa que as interações realizadas em determinado período, podem gerar resultados distintos se replicadas posteriormente. Assim, conforme destaca o autor, este tipo de análise deve ser compreendido como um panorama do estado atual da tecnologia, e não como um retrato definitivo de seu impacto educacional (Adel *et al.*, 2024).

Zawacki-Richter *et al.* (2019, p.10, tradução nossa) oferecem uma definição abrangente de IA descrevendo-a como “sistemas computacionais inteligentes ou agentes inteligentes com características humanas, como a capacidade de memorizar conhecimento, de perceber e manipular seu ambiente de maneira semelhante à humanos”. O ChatGPT materializa essas características, sendo capaz de processar a linguagem de forma eficiente, responder perguntas, manter diálogos e gerar textos em várias línguas, destacando-se pela sua modelagem avançada e vasto treinamento em grandes volumes de dados (Sallam, 2023; Qadir, 2023; Pardos & Bhandari, 2023).

A evolução dessa tecnologia pode ser observada na versão GPT-3 da OpenAI representando um avanço significativo para grandes modelos de linguagem, pois foi treinado com mais de 175 bilhões de parâmetros, o que é 10 vezes mais do que qualquer outro modelo anterior (Brown *et al.*, 2020). Atualmente a versão gratuita utiliza a versão GPT-3.5, entretanto, a OpenAI oferece uma versão paga, o ChatGPT Plus, que proporciona benefícios como prioridade de acesso, respostas mais rápidas e acesso antecipado a novos recursos. Mais

recentemente, o ChatGPT evoluiu para a versão GPT-4, um avanço significativo em relação ao GPT-3, embora a OpenAI não tenha divulgado o número exato de parâmetros utilizados no treinamento deste novo modelo, acredita-se que seja substancialmente maior (OpenAI, 2024).

Além do desenvolvimento técnico, a eficácia da interação com esses sistemas depende da clareza dos *prompts*. Segundo Nazari e Saadi (2024, tradução nossa) “um prompt que inclua palavras-chave ou frases específicas pode ajudar o ChatGPT a restringir o tópico e fornecer uma resposta mais direcionada”. Além disso, os autores ressaltam que *prompts* pouco claros podem levar a respostas irrelevantes, sendo necessário reservar um tempo para aprimorar o seu desenvolvimento e, conseqüentemente, melhorar as respostas da IA (Nazari & Saadi, 2024). Dessa forma, tanto o avanço tecnológico quanto o aprimoramento do uso de *prompts* contribuem diretamente para a capacidade da IA de fornecer respostas relevantes.

Todavia, a qualidade dos materiais gerados pela IA está diretamente ligada à qualidade dos dados utilizados em seu treinamento, o que pode gerar respostas com erros conceituais ou informações inventadas, pois não possui acesso à internet e opera com base nos dados de treinamento disponíveis até 2021. Além disso, foi projetado para prever a sequência de palavras que melhor se adapta à pergunta, o que não garante que a resposta seja correta (Trust *et al.*, 2023). Outro ponto crítico, conforme destacam Souza *et al.* (2023, p. 23), é a questão do viés algorítmico, “que ocorre quando os sistemas de IA reproduzem preconceitos e estereótipos presentes nos dados de treinamento”.

Além disso, Clark (2023) levanta alguns questionamentos sobre a utilização desta ferramenta no ensino de Química: “Como o ChatGPT funcionará com o tópico fortemente simbólico da química, que muitas vezes combina texto, símbolos e números? [...] As informações estarão corretas, incluirão pequenos erros ou serão profundamente falhas?” (Clark, 2023, p. 1906, tradução nossa). Essas dúvidas ganham relevância quando se considera que a Química é uma disciplina que envolve múltiplas representações e modelos teóricos. Segundo Johnstone (2000), o pensamento químico exige a articulação entre o nível macroscópico (fenômenos observáveis), o nível submicroscópico (átomos e moléculas) e o nível simbólico (fórmulas, equações e linguagem matemática). Wartha e Rezende (2016), reforçam que a aprendizagem química opera de forma distinta do mundo cotidiano justamente por exigir a inter-relação constante entre esses três níveis de pensamento.

Nesse sentido, o domínio de conceitos ácido-base, por exemplo, demanda mais do que definições decoradas, requer o entendimento de diferentes modelos explicativos que evoluem ao longo da trajetória educacional. Essas teorias são abordadas de maneira progressiva nos diferentes níveis de ensino. No NEM, predominam as abordagens clássicas, como a definição de Arrhenius, Bronsted-Lowry e Lewis, enquanto no ES é comum a introdução de teorias mais complexas, como a de Pearson (Atkins & Jones, 2012; Kotz & Treichel, 2002; Santos, 2020a; 2020b; Silva & Amaral, 2020).

Nesse processo de aprendizagem, é importante considerar a noção de obstáculo epistemológico, proposta por Bachelard (1996), segundo a qual o conhecimento prévio, muitas vezes formado por concepções espontâneas ou inadequadas, pode dificultar a assimilação de conceitos científicos mais elaborados. Como ressalta Herbst (2022, p. 26), “um obstáculo é, de fato, um conhecimento, e não uma dificuldade ou uma falta de conhecimento”. Isso significa que certos saberes prévios, enraizados em interpretações cotidianas ou modelos simplificados, podem funcionar como barreiras ao aprendizado. No caso das teorias ácido-base, “a partir da noção bachelardiana de obstáculo epistemológico, foram detectados os obstáculos substancialista e verbalista na assim chamada definição ácido-base de Arrhenius” (Herbst, 2022, p. 25).

Além disso, Bachelard (1996) define o Conhecimento Geral como a tendência de generalizar conceitos de forma precipitada e simplificada, o que pode levar a uma compreensão superficial e a erros na construção do conhecimento científico. O autor afirma que “nada prejudicou tanto o progresso do conhecimento científico quanto a falsa doutrina do geral, que dominou de Aristóteles a Bacon, inclusive, e que continua sendo, para muitos, uma doutrina fundamental do saber” (Bachelard, 1996, p. 69).

De acordo com a teoria da aprendizagem significativa, formulada por Ausubel, a aprendizagem ocorre de maneira mais eficaz quando os novos conteúdos são conectados de forma lógica e substancial a conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Em outras palavras, aprender significativamente

implica integrar novos conceitos a ideias prévias relevantes, evitando uma aprendizagem meramente mecânica e favorecendo a construção de um entendimento duradouro (Moreira, 1982). Esse entendimento é corroborado por Faustino (2023, p. 73), ao mencionar que, no ensino das teorias ácido-base, “é importante conceber que alguns alunos ficarão no âmbito da aprendizagem mecânica, enquanto outros caminharão em direção à aprendizagem significativa”. Tais diferenças reforçam a necessidade de estratégias pedagógicas que considerem a diversidade das trajetórias cognitivas dos estudantes, promovendo condições para que todos possam superar obstáculos epistemológicos durante a aprendizagem dos modelos explicativos ácido-base.

Contudo, estudos têm explorado como a IA pode contribuir para a educação Química em diferentes contextos, o estudo de Ghazali *et al.* (2024) explorou a utilização do ChatGPT, como professor substituto durante as ausências dos professores em aulas de Química. Utilizando a Taxonomia de Bloom, observou-se que o grupo orientado pelo professor teve quase o dobro de respostas de alta qualidade em comparação ao grupo orientado pelo ChatGPT, o qual embora tenha mostrado potencial em promover habilidades de pensamento crítico, houve dificuldades no engajamento completo dos alunos, levantando preocupações éticas e pedagógicas sobre o uso da IA na educação.

Clark *et al.* (2023), compararam as respostas entre o ChatGPT e alunos dos cursos de Química envolvendo cálculos de ácidos e bases. A IA teve um bom desempenho na resolução de cálculos envolvendo ácidos fortes e bases fortes, entretanto teve um resultado mais fraco para ácidos e bases fracas, assim como para titulações e sais aquosos. Ainda segundo a autora, o maior problema foram erros matemáticos, que são incomuns para os alunos. Bem como Talanquer (2023), o qual fez uma série de perguntas à IA, observando que mesmo após ser questionado sobre uma resposta errônea, o ChatGPT reconhece o erro, mas não é capaz de elevar conceitualmente o nível da resposta, além de apresentar confusão e ser repetitivo em alguns momentos.

Contudo, em relação ao uso do ChatGPT na educação, é importante considerar suas limitações e a necessidade de supervisão humana. De acordo com Eugenio (2023, p. 12) “o próprio chat não se considera autossuficiente e reforça a presença de um professor para auxiliar os alunos”. Portanto, a integração de IA no ambiente educacional depende de vários fatores, incluindo a preparação dos educadores. Para Souza *et al.* (2023, p. 24) “é necessário oferecer formação adequada para que os professores possam utilizar as ferramentas de IA de maneira eficaz e integrá-las ao currículo escolar de forma significativa.” Além disso, vários autores comentam sobre preocupações com erros conceituais fornecidos nas explicações (Clark, 2023; Clark *et al.*, 2023; Emenike & Emenike, 2023; Eugenio *et al.*, 2023; Guo & Lee, 2023; Hallal, 2023; Leon & Vidhani, 2023; Talanquer, 2023; Tyson, 2023; Yik & Dood, 2024).

Como ressaltado por Talanquer (2023, p. 2823, tradução nossa), “os chatbots são treinados com informações da Internet que provavelmente incluem explicações tendenciosas e conceitos errôneos sobre diversos fenômenos”, o que aumenta o risco de que o ChatGPT forneça respostas com falhas conceituais. Dessa forma, compreende-se que o ensino de Química exige mais do que a exposição de modelos teóricos, requer práticas pedagógicas que favoreçam a superação de obstáculos epistemológicos e promovam a construção ativa do conhecimento. Nesse contexto, a mediação tecnológica como o uso do ChatGPT pode ser analisada à luz da perspectiva da educação crítica, como destacado por Paulo Freire. O autor propõe uma abordagem educacional centrada no diálogo, na problematização da realidade e na construção coletiva do saber (Freire, 1982), o que contribui para refletir criticamente sobre os usos e os limites dessas tecnologias no processo formativo.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

O estudo adota uma abordagem qualitativa, pois, se concentra em investigar a exatidão dos conceitos químicos e em avaliar a capacidade do ChatGPT em adaptar esses conteúdos para diferentes níveis de ensino. A escolha pela pesquisa qualitativa é fundamentada na natureza explicativa que permite a compreensão das interações entre a TD e os usuários. Como destacado por Firestone (1987, p. 16-17), “a pesquisa qualitativa está mais preocupada em entender o fenômeno social a partir das perspectivas dos atores, por meio da participação na vida desses atores (tradução nossa)”. Neste caso, os “atores” podem ser tanto os educadores quanto os alunos que interagem com a IA, o que permite uma análise dessas interações, captando as percepções, experiências e desafios enfrentados.

Além disso, conforme argumenta Moreira (2003, p.22), o interesse central da pesquisa qualitativa reside

“na questão dos significados que as pessoas atribuem a eventos e objetos, em suas ações e interações dentro de um contexto social e na elucidação e exposição desses significados pelo pesquisador”. Isso permite uma análise de como os diferentes “atores” interpretam e atribuem valores às respostas do ChatGPT, bem como essas interações podem influenciar o processo de ensino-aprendizagem.

O estudo também pode ser caracterizado como explicativo, pois busca compreender os fatores que influenciam a capacidade do ChatGPT em adaptar conceitos químicos para diferentes níveis de ensino, indo além de uma simples descrição ou exploração desses processos. De acordo com Gil (2008, p. 28), as pesquisas explicativas têm como preocupação central “identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Este é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas.”

A pesquisa foi conduzida utilizando a arquitetura GPT-3.5 na versão gratuita do ChatGPT. A escolha pela gratuidade se fundamenta na compreensão de que esta é a opção mais acessível a utilização pelo público-alvo deste estudo. Além disso, a versão Plus, que oferece acesso ao modelo GPT-4, é disponibilizada apenas mediante pagamento, o que limita a sua adoção em contextos educacionais e de pesquisa que priorizam a inclusão e a equidade no acesso à ferramenta. Assim, o estudo foi dividido em três etapas: abertura de conta na IA, formulação de *prompts* e aplicação e, por fim, análise dos dados fornecidos.

Na primeira etapa, foram criadas três contas na IA (C1, C2 e C3) a partir da criação de três novos e-mails, com o objetivo de comparar os resultados. Todas as respostas foram obtidas no mês de agosto de 2024. Na segunda etapa, definiu-se que as explicações e definições dos conteúdos relacionados a ácido-base seriam organizadas conforme o nível de ensino. Para o NEM, os tópicos abordados incluem: ácidos e bases a partir das Teorias de Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis. Para o ES, além desses conteúdos citados, foi incluída a Teoria de Pearson, pois geralmente é trabalhada nas disciplinas de Química Orgânica e Inorgânica.

A formulação de *prompts* segue o modelo proposto por Nazari e Saadi (2024), que usa como base os componentes Tarefa, Contexto e Instruções (TCI). Segundo os autores, esses componentes são definidos da seguinte maneira:

A tarefa refere-se à ação ou processo específico que um modelo de IA é treinado para executar em resposta a um prompt. O contexto fornece informações adicionais sobre a tarefa para ajudar o modelo de IA a compreender a situação e os objetivos. As instruções são as etapas ou ações específicas necessárias para concluir a tarefa ou alcançar o resultado desejado (Nazari & Saadi, 2024, tradução nossa).

Durante o desenvolvimento dos *prompts*, as tarefas foram elaboradas para refletir sobre os conceitos químicos no contexto delimitado entre o NEM e o ES. As instruções foram incorporadas por meio da solicitação de definições claras e específicas, com linguagem acessível e apropriada ao nível de escolaridade indicado, conforme ilustrado no Quadro 1. Para cada novo *prompt*, o ChatGPT foi aberto em uma guia separada, a fim de evitar a interferência de respostas anteriores. Além disso, após cada resposta obtida, foi incluído um novo *prompt* solicitando ao modelo que “melhore sua resposta”, prática também adotada por Leite (2022) ao investigar a produção de definições químicas com o uso da IA. Essa estratégia buscou avaliar a capacidade do modelo em reformular suas respostas. Destaca-se que as análises foram realizadas com base tanto nas respostas iniciais quanto nas respostas aperfeiçoadas, geradas nas três contas utilizadas na pesquisa (C1, C2 e C3).

Para facilitar a organização e a análise das interações com o ChatGPT, cada *prompt* foi codificado conforme o nível de ensino e o conteúdo abordado. Os códigos seguem a estrutura “NEM” (Novo Ensino Médio) ou “ES” (Ensino Superior), seguido do tópico específico tratado. Por exemplo, “NEM/Arrhenius” refere-se ao prompt relacionado à Teoria de Arrhenius voltado para o Novo Ensino Médio, enquanto “ES/Arrhenius” indica o mesmo conteúdo tratado no contexto do Ensino Superior.

Quadro 1- *prompts desenvolvidos para os diferentes níveis de ensino segundo o modelo TCI para aplicação na versão 3.5 do ChatGPT.*

Códigos	Conteúdos	Prompts
NEM/ácido-base	Ácidos e bases	Qual a definição de ácidos e bases? Forneça uma definição clara e específica para estudantes do Ensino Médio entendam esses conceitos.
NEM/Arrhenius	Teoria de Arrhenius	Qual a definição de ácido e base de acordo com a Teoria de Arrhenius? Forneça uma definição clara e específica para estudantes do Ensino Médio entendam esses conceitos.
NEM/Brønsted-Lowry	Teoria de Brønsted-Lowry	De acordo com a Teoria de Brønsted-Lowry, qual a definição de ácido e base? Forneça uma definição clara e específica para estudantes do Ensino Médio entendam esses conceitos.
NEM/Lewis	Teoria de Lewis	De acordo com a Teoria de Lewis, qual a definição de ácido e base? Forneça uma definição clara e específica para estudantes do Ensino Médio entendam esses conceitos.
ES/ácido-base	Ácidos e bases	Qual a definição de ácidos e bases? Forneça uma definição clara específica para estudantes de Graduação em Química entendam esses conceitos.
ES/Arrhenius	Teoria de Arrhenius	De acordo com a Teoria de Arrhenius, qual a definição de ácido e base? Forneça uma definição clara e específica para estudantes de Graduação em Química entenderem esses conceitos.
ES/Brønsted-Lowry	Teoria de Brønsted-Lowry	De acordo com a Teoria de Brønsted-Lowry, qual a definição de ácido e base? Forneça uma definição clara e específica para estudantes de Graduação em Química entenderem esses conceitos.
ES/Lewis	Teoria de Lewis	De acordo com a Teoria de Lewis, qual a definição de ácido e base? Forneça uma definição clara e específica para estudantes de Graduação em Química entendam esses conceitos.
ES/Pearson	Teoria de Pearson	De acordo com a Teoria de Pearson, qual a definição de ácido e base? Forneça uma definição clara e específica para estudantes de Graduação em Química entendam esses conceitos.

Fonte: Os autores.

Na terceira etapa, foi realizada a análise das respostas geradas pelo ChatGPT, com base na Análise de Conteúdo, dentro de uma perspectiva explicativa. Segundo Flick (2009, p 291), “a análise de conteúdo é um dos procedimentos clássicos para analisar o material textual, não importando qual a origem desse material.”

Para orientar essa etapa, recorreu-se à proposta metodológica de Triviños (1987), que organiza a Análise de Conteúdo em três fases principais: pré-análise, descrição analítica e interpretação inferencial, baseando-se na classificação original de Bardin (2011), mas com nomenclatura e ênfases próprias. Na pré-análise, o pesquisador organiza e sistematiza o material de pesquisa, definindo categorias e hipóteses. Na descrição analítica, o material é submetido a um estudo aprofundado, orientado pelas hipóteses e referenciais teóricos. Por fim, na interpretação referencial, o pesquisador analisa os dados em relação ao referencial teórico, envolve uma análise mais aprofundada das respostas, indo além do conteúdo manifesto para explorar o conteúdo latente (Triviños, 1987).

O foco desta terceira etapa de análise foi, primeiramente, o uso correto dos conceitos químicos e das definições fornecidas pela IA. Dada a necessidade de validação das respostas fornecidas pelo ChatGPT, estas foram comparadas com auxílio de livros autorizados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) do NEM e com a literatura acadêmica padrão utilizadas em cursos de Graduação em Química para validar a credibilidade e a qualidade dos dados fornecidos pela IA.

ESCOLHA DOS LIVROS DIDÁTICOS

Com a aprovação e homologação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) em 2017, este documento passou a ser a orientação oficial para o currículo da educação básica no Brasil (MEC, 2017). A BNCC, como normativa da educação básica, também impacta os materiais didáticos utilizados nas escolas, especialmente os livros didáticos do PNLD. De acordo com o art. 20 da Resolução CNE/CP nº 2, de 22 de dezembro de 2017 “Art. 20. O PNLD–Programa Nacional do Livro Didático deve atender o instituído pela BNCC, respeitando a diversidade de currículos, construídos pelas diversas instituições ou redes de ensino, sem uniformidade de concepções pedagógicas” (MEC, 2017).

Portanto, os livros didáticos de Química deixaram de ser produzidos individualmente, sendo substituídos por livros de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, contemplando as disciplinas de Química, Física e Biologia, sendo trabalhados de forma interdisciplinar. Ao analisar os conteúdos ácido-base, o enfoque foi na Teoria de Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis, encontradas nos livros didáticos aprovados pelo PNLD para o triênio de 2021, optou-se em utilizar os livros didáticos Santos (2020a) “Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias vol. 5, ser humano: origem e funcionamento” e Santos (2020b) “Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias vol. 6, ser humano e meio ambiente: relações e consequências”.

No Brasil, não existe uma normativa específica que regule a escolha de livros didáticos para o ES, como ocorre no ensino regular com o PNLD. As universidades e faculdades têm autonomia para selecionar os materiais didáticos que consideram mais adequados para seus cursos. Essa escolha geralmente é feita pelos professores responsáveis pelas disciplinas, com base nos objetivos do curso, no perfil dos alunos, nos critérios de qualidade acadêmica, além da disponibilidade nas bibliotecas das instituições.

Portanto, os livros de Atkins e Jones, (2012) “Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente” e Kotz (2002) “Química e reações químicas” são possíveis escolhas para o ES, especialmente quando se trata de aprofundar conceitos de ácido-base e sua qualidade conceitual, entretanto, não contemplam a Teoria de Pearson, para este fim o livro de Costa *et al.* (2005) “Ácidos e bases na química orgânica” também foi utilizado, com o objetivo de comparar as respostas do ChatGPT sobre os conteúdos delimitados ao ES.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram discutidos com base nas características de cada nível de ensino, visando contribuir para a compreensão das possibilidades e limitações do seu uso como ferramenta de apoio pedagógico no ensino de Química para educadores e alunos. A análise inclui reflexões sobre como as respostas do ChatGPT podem influenciar o aprendizado dos estudantes. Além disso, foram exploradas as implicações dessas interações no engajamento dos alunos, destacando como a adaptação da linguagem e a profundidade das explicações podem impactar a retenção do conhecimento.

Análise das respostas sobre os conteúdos do NEM

Além da análise conceitual das respostas fornecidas pelo ChatGPT, é necessário destacar a instabilidade da IA, que influencia diretamente a confiabilidade e a reprodutibilidade dos dados. Como discutido anteriormente, mesmo *prompts* idênticos podem gerar respostas diferentes em momentos distintos, o que reflete o funcionamento probabilístico da IA generativa e suas constantes atualizações (Adel *et al.*, 2024). Por essa razão, os resultados aqui apresentados representam um recorte específico, e não podem ser generalizados de forma absoluta. No entanto, esse caráter mutável do ChatGPT reforça justamente a importância de estudos como este, que não apenas quantificam erros e acertos, mas também problematizam as implicações pedagógicas de se empregar uma tecnologia em constante transformação no processo de ensino e aprendizagem da Química.

O conceito ácido-base geralmente é apresentado por meio de modelos ou teorias que se desenvolveram durante a história. Segundo Silva e Amaral, (2020, p. 3) “no Ensino Médio, em geral, ácidos e bases são abordados a partir de teorias propostas por Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis”. Portanto, infere-se que o ChatGPT explique esses conceitos seguindo essas teorias, como usualmente é feito nessa etapa educacional. Na análise do *prompt* NEM/ácido-base, observou-se que, em todas as três contas analisadas, a definição de Arrhenius foi apresentada. No entanto, em apenas em (C3), as definições de Brønsted-Lowry e Lewis foram mencionadas. Conforme Souza e Aricó (2020, p. 212) “a classificação de ácidos e bases segundo a definição de S.A Arrhenius é a mais abordada no ensino de química” o que pode ter influenciado o ChatGPT a fornecer as respostas a partir da Teoria de Arrhenius.

C1: Ácido é toda substância que, quando dissolvida em água, libera íons H^+ (íon hidrogênio, também chamado de próton). Base é toda substância que, quando dissolvida em água, libera íons OH^- (íon hidróxido) (OpenAI, 2024).

C2: Ácidos São substâncias que, quando dissolvidas em água, liberam íons H^+ (íons hidrogênio). Esses íons são responsáveis pelas propriedades ácidas, como sabor azedo, capacidade de corroer metais e mudar a cor de indicadores (por exemplo, tornam o azul de tornassol vermelho). Bases são substâncias que, quando dissolvidas em água, liberam íons OH^- (íons hidróxido). Esses íons dão às bases o sabor amargo, a sensação escorregadia ao toque e a capacidade de mudar a cor de indicadores (por exemplo, tornam o vermelho de tornassol azul) (OpenAI, 2024).

C3: Teoria de Arrhenius. Ácido: substância que libera íons H^+ (hidrogênio) quando dissolvida em água. Base: substância que libera íons OH^- (hidróxido) na água. Teoria de Brønsted-Lowry. Ácido: substância que doa um próton (H^+). Base: substância que recebe um próton (H^+). Teoria de Lewis. Ácido de Lewis: é qualquer substância que aceita um par de elétrons. Base de Lewis: é qualquer substância que doa um par de elétrons (OpenAI, 2024).

A ausência de outras teorias nas explicações sobre ácido-base pode limitar a compreensão dos alunos, pois a Teoria de Arrhenius só abrange reações que ocorrem em soluções aquosas sendo uma de suas limitações (Santos, 2020a; Santos, 2020b). Segundo Souza e Aricó (2020, p. 212) “o próprio S.A. Arrhenius, em seu discurso, ao receber o prêmio Nobel de química no ano de 1903 pela teoria de dissociação eletrolítica, já apontava aparentemente que não valorizava as definições de ácidos e bases propostas por ele próprio”.

Na análise do *prompt* NEM/Arrhenius, foi observada uma mistura entre os conceitos das teorias de Arrhenius e Brønsted-Lowry nas respostas do ChatGPT, o que foi considerado um erro conceitual. Em uma das respostas (C2), o ChatGPT misturou as teorias ao afirmar que “uma maneira de lembrar é que ácidos ‘dão’ íons H^+ , e bases ‘recebem’ íons H^+ ” (OpenAI, 2024). A definição de ácido segundo Arrhenius inclui apenas a liberação de íons H^+ em solução aquosa, enquanto a base é uma substância que libera hidroxilas (OH^-), e não recebem H^+ como apontado na resposta do ChatGPT. O termo doação de prótons refere-se a Teoria de Brønsted-Lowry (Atkins & Jones, 2012).

O ChatGPT combina as duas teorias em uma única definição, o que leva a uma confusão conceitual. Tais teorias, deveriam ser apresentadas de maneira distinta para evitar mal entendidos, especialmente se o estudante não tiver conhecimento suficiente para identificar a falha. Esse tipo de imprecisão pode ser caracterizado como um obstáculo epistemológico, nos termos de Bachelard (1996), uma vez que dificulta a construção do conhecimento científico ao reforçar representações prévias inadequadas ou mal formuladas. Segundo o autor, o progresso no pensamento científico exige a superação dessas barreiras cognitivas, o que reforça a necessidade de uma apresentação didática clara, coerente e contextualizada das diferentes teorias, a fim de evitar a consolidação de interpretações errôneas no percurso formativo dos estudantes.

Observações semelhantes foram feitas por Leite (2023), que, ao investigar o desempenho da IA na definição de conceitos químicos, também identificou confusões recorrentes entre diferentes modelos teóricos de ácidos e bases, especialmente entre as Teorias de Arrhenius e Lewis. O autor destacou que, mesmo após solicitações de reformulação, a IA persistia em apresentar definições imprecisas, mesclando referenciais distintos. Essa limitação compromete não apenas a clareza das explicações fornecidas, mas também a precisão conceitual para a construção de um entendimento adequado por parte dos estudantes.

Nesse contexto, Clark (2023, p. 1913, tradução nossa), observa que “o chatbot não expressa dúvidas [...] respostas corretas e incorretas são comunicadas no mesmo tom. Se for informado ao ChatGPT que um aspecto de sua resposta está incorreto, ele poderá pedir desculpas, mas não é fácil mudar sua resposta”. Esse comportamento dificulta a percepção, por parte do estudante, sobre a precisão das informações apresentadas, reforçando a ideia de que o uso de ferramentas de IA requer a formação adequada para promover o discernimento conceitual.

Ademais, a formulação de *prompts* mais elaborados, que favoreçam a geração de respostas conceitualmente mais precisas, depende diretamente do domínio prévio do conteúdo por parte do usuário. Nesse sentido, metodologias como o modelo TCI, proposto por Nazari e Saadi (2024), mostram-se eficientes para estruturar interações mais produtivas com a IA. Entretanto, para que esse tipo de abordagem seja aplicado, é necessário que o estudante compreenda minimamente os conceitos que deseja explorar. Caso contrário, há o risco de se formular *prompts* genéricos, resultando em respostas igualmente superficiais.

O livro didático de Santos (2020a) destaca uma limitação importante da Teoria de Arrhenius, sua aplicação restrita a soluções aquosas. Embora esse ponto não seja mencionado pelo ChatGPT, ele é fundamental para entender que, apesar de útil, a Teoria de Arrhenius não abrange todos os contextos químicos. Após o pedido de melhora da resposta em (C3) a resposta passou a incluir exemplos de substâncias que não são consideradas bases ou ácidos de Arrhenius, como amônia (NH_3) “a amônia (NH_3) é uma base, mas não contém íons OH^- ” e do dióxido de enxofre (SO_2) “o dióxido de enxofre (SO_2) atua como ácido, mas não libera H^+ diretamente” (OpenAI, 2024).

Segundo o referencial teórico para o NEM (Santos, 2020a; Santos, 2020b), a definição de Arrhenius traz que para ser considerada uma base, a substância deve dissociar-se e liberar íons OH^- , o que significa que a base deve conter o grupo hidroxila (OH^-) em sua estrutura. Como a amônia não possui esse grupo, ela não se enquadra na definição de Arrhenius. Segundo o livro didático Amabis *et al.*, (2020, p.79) a amônia “não é uma base de acordo com a definição de Arrhenius, pois não apresenta íons hidróxido em sua composição para que possa liberá-los em meio aquoso”.

Do mesmo modo, o dióxido de enxofre (SO_2) não é classificado como um ácido nas definições de Arrhenius. Na literatura do NEM ele é classificado como um óxido ácido. Os óxidos ácidos são substâncias que, quando dissolvidas em água, reagem para formar ácidos (Santos, 2020a; Santos, 2020b). No entanto, sob a definição de Lewis, o SO_2 é classificado como um ácido, pois é capaz de aceitar um par de elétrons da água, contudo o ChatGPT não menciona esta informação, ocasionando uma visão simplista. Essa simplificação pode ser considerada um exemplo de Conhecimento Geral, ou seja, um obstáculo epistemológico de Bachelard (1996), pois aplica conceitos de forma geral e não considera a complexidade e as nuances dos diferentes modelos teóricos.

Além disso, a superficialidade na apresentação de conteúdos pode comprometer habilidades fundamentais, como o pensamento crítico e a resolução de problemas, essenciais para a formação científica dos alunos. Como ressaltam Araújo *et al.* (2024, p.51) “a capacidade de analisar, avaliar e sintetizar informações de maneira objetiva e reflexiva é crucial para a formação de indivíduos aptos a enfrentar os desafios do mundo moderno.” O pensamento crítico exige a capacidade de avaliar diversas perspectivas e argumentos, algo que a superficialidade tende a inibir. Para mitigar essa limitação, é crucial complementar as respostas simplistas da IA a partir de discussões em sala de aula. Como defendem Freire (1996) e Zabala (1998), atividades que incentivem o diálogo e o debate entre os alunos, onde possam explorar diferentes definições e suas implicações, são fundamentais para enriquecer o processo de ensino-aprendizagem.

Na análise do NEM/Brønsted-Lowry, as respostas fornecidas pelo ChatGPT, simplificam os conceitos ao descreverem ácidos como doadores de prótons e bases como receptores de prótons, mencionam brevemente que a Teoria de Brønsted-Lowry “amplia a definição de ácidos e bases” ao permitir a consideração de reações que não envolvem água. No entanto, essa ampliação é apenas mencionada de maneira superficial, sem entrar em detalhes. Embora essa abordagem seja válida, ela é mais introdutória e menos detalhada, o que pode ser útil para uma explicação preliminar, mas não atende com mais profundidade a Teoria de Brønsted-Lowry. As definições apresentadas nas três contas foram semelhantes, com pequenas variações na forma de expressão, como pode ser observado no exemplo da conta (C1).

C1: A Teoria de Brønsted-Lowry oferece uma maneira simples de entender o que são ácidos e bases: Ácido: É uma substância que doa um próton, que é um íon de hidrogênio (H^+), para outra substância. Em termos simples, um ácido é algo que pode liberar um íon hidrogênio para o ambiente. Base: É uma substância que aceita um próton (H^+) de outra substância. Ou seja, uma base é algo que pode receber ou “capturar” um íon hidrogênio. Por exemplo, quando misturamos ácido clorídrico (HCl) com água, o HCl doa um próton (H^+) para a água, formando íons hidrônio (H_3O^+) e cloreto (Cl^-). Nesse caso, o HCl é o ácido porque doa o próton, e a água é a base porque aceita o próton. Essa teoria é importante porque amplia a definição de ácidos e bases, permitindo que entendamos reações que ocorrem mesmo quando não há água envolvida (OpenAI, 2024).

Essa limitação pode estar relacionada ao próprio funcionamento, pois o ChatGPT interpreta a pergunta, acessa e recupera informações relevantes de sua base de dados e, a partir de padrões observados em seus dados de treinamento (Talanquer, 2023). Contudo, essa geração é baseada em previsões linguísticas, o que pode promover respostas sem precisão conceitual e profundidade exigidas em contextos educacionais.

Para o *prompt* NEM/Lewis as explicações do ChatGPT focam na movimentação de pares de elétrons, fornecendo exemplos de ácidos e bases de Lewis, como H^+ e BF_3 para ácidos, e NH_3 para bases. Ele também destaca que essa definição é mais ampla que as teorias anteriores (Arrhenius e Brønsted-Lowry) e menciona que a Teoria de Lewis se aplica também a reações químicas que não envolvem íons H^+ . As definições apresentadas nas três contas foram semelhantes, com pequenas variações na forma de expressão, como pode ser observado no exemplo da conta (C1).

C1: De acordo com a Teoria de Lewis, a definição de ácido e base é baseada na capacidade de doar ou aceitar pares de elétrons, e não na presença de íons H^+ (prótons) ou OH^- (hidróxidos), como nas definições de Arrhenius ou Brønsted-Lowry. Ácido de Lewis: É uma substância que aceita um par de elétrons. Em outras palavras, um ácido de Lewis tem uma "falta" de elétrons e quer recebê-los de outra substância. Exemplo: o íon H^+ ou o BF_3 (trifluoreto de boro), que pode receber elétrons. Base de Lewis: É uma substância que doa um par de elétrons. Isso significa que a base de Lewis tem um par de elétrons livre que pode ser compartilhado com outra substância. Exemplo: o NH_3 (amônia), que pode doar seus elétrons para formar uma ligação (OpenAI, 2024).

Apesar de conceitualmente correta, a resposta apresenta uma abordagem introdutória, compatível com o que se observa nos livros didáticos do NEM, centrada em definições diretas e exemplos pontuais. Essa abordagem, embora adequada para estudantes iniciantes, exige a atuação ativa do professor como mediador, capaz de expandir e aprofundar o conteúdo apresentado pela IA. Nessa perspectiva, Freire (1996) defende que o professor deve ser um agente formador do pensamento crítico, capaz de romper com a lógica do ensino bancário, aquele que apenas deposita informações e promover o diálogo como base da construção do saber, ao proporcionar uma visão crítica, o professor evita que o ensino se limite à memorização.

A partir desta análise para o NEM, o ChatGPT oferece uma abordagem que, apesar de útil para introduções e explicações rápidas, pode não atender completamente às necessidades dos estudantes. Isso ocorre porque, em muitos casos, a explicação tende a ser simplificada e pode não explorar em profundidade as complexidades dos diferentes modelos teóricos, além das confusões e erros conceituais, o que preocupa quanto à capacidade dos estudantes de considerar a falta de informações ou possíveis equívocos nas respostas fornecidas. Como alerta Clark (2023, p. 1913, tradução nossa), um estudante que procura “informações factuais sobre química, como uma estrutura de Lewis, o nome de um ácido ou uma tendência periódica, seria muito melhor atendido consultando um livro didático de química ou usando um mecanismo de busca na internet”.

ANÁLISE DAS RESPOSTAS SOBRE OS CONTEÚDOS DO ES

No contexto do ES, a expectativa é que as teorias ácido-base de Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis e Pearson sejam apresentadas com maior detalhamento conceitual. Ao *prompt* ES/Ácido-base nota-se que as respostas fornecidas pelo ChatGPT em (C1, C2 e C3) foram mais robustas em relação aos conceitos químicos, fornecendo definições assim como algumas limitações das Teorias de Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis, mostrando que o modelo é capaz de adequar o nível da resposta a partir do público-alvo determinado no *prompt*.

Em comparação com o nível do NEM em que a resposta se limitou essencialmente à Teoria de Arrhenius, observa-se um avanço na abrangência conceitual no contexto do ES. No entanto, não é apresentado em nenhum momento a Teoria de Pearson.

C3: Ácidos e bases são substâncias fundamentais em química, com diferentes definições baseadas em teorias específicas. Para estudantes de graduação em Química, é essencial conhecer as definições de Arrhenius, Brønsted-Lowry e Lewis. Aqui estão as três abordagens mais comuns: Teoria de Arrhenius (1884). Ácido: uma substância que, quando dissolvida em água, libera íons H^+ (ou H_3O^+ , íon hidrônio). Base: uma substância que, quando dissolvida em água, libera íons OH^- . Teoria de Brønsted-Lowry (1923). Ácido: um doador de prótons (H^+). Exemplo: HCl é um ácido porque doa um próton ao H_2O , formando H_3O^+ . Base: um receptor de prótons. Exemplo: NH_3 é uma base porque aceita um próton do H_2O , formando NH_4^+ . Esta definição é mais ampla que a de Arrhenius, pois não requer que a substância esteja em solução aquosa. Teoria de Lewis (1923). Ácido: uma substância que aceita um par de elétrons. Exemplo: BF_3 é um ácido de Lewis, pois pode aceitar um par de elétrons de uma base. Base: uma substância que doa um par de elétrons. Exemplo: NH_3 é uma base de Lewis, pois doa um par de elétrons ao BF_3 . A definição de Lewis é ainda mais abrangente e inclui reações que não envolvem diretamente prótons (OpenAI, 2024).

A análise do *prompt* ES/Arrhenius inicia-se pela consideração de que a Teoria de Arrhenius é uma das primeiras definições para explicar o comportamento ácido-base em solução aquosa. Segundo Kotz e Treichel (2002, p. 65) “ácido é uma substância que contém hidrogênio e libera o íon hidrogênio (H^+) como um dos produtos da sua ionização em água [...] uma base de Arrhenius é um composto que libera íons hidróxido em água”.

Ao comparar essa abordagem com a explicação fornecida pelo ChatGPT, percebe-se que a IA apresentou um erro em C1 ao “misturar” as definições de Arrhenius com Brønsted-Lowry, algo que já havia ocorrido para o NEM. A definição de Arrhenius para ácido não inclui o termo “doador de prótons”, o qual pertence à Teoria de Brønsted-Lowry. Esse tipo de erro é revelador, pois demonstra que, mesmo em tarefas básicas, o modelo pode falhar na aplicação correta dos conceitos, destacando sua dificuldade em manter a exatidão conceitual, mesmo em contextos relativamente simples. Como é observado por Clark (2023), “o chatbot forneceu respostas incorretas para tarefas simples, como nomear ácidos dada a fórmula química” (p. 1911, tradução nossa). Em contrapartida, as respostas fornecidas nas contas C2 e C3 apresentaram definições compatíveis com a Teoria de Arrhenius, com variações mínimas na formulação.

C1: um ácido é uma substância que, quando dissolvida em água, libera íons hidrogênio (H^+) ou íons hidrônio (H_3O^+). Em outras palavras, um ácido é um doador de prótons em solução aquosa (OpenAI, 2024). Base de Arrhenius: É toda substância que, quando dissolvida em água, libera íons hidróxido (OH^-) como únicos ânions responsáveis pela basicidade da solução (OpenAI, 2024).

Segundo Clark (2023), as limitações do ChatGPT, quando bem aproveitadas, podem ser transformadas em oportunidades para desenvolver habilidades como o pensamento crítico e a avaliação de informações. Dessa forma, o ChatGPT pode ser útil não como um substituto para o professor, mas como uma ferramenta complementar que promove a alfabetização informacional, ao exigir que os estudantes analisem e critiquem as respostas recebidas. Portanto, o professor deve atuar para corrigir possíveis erros e aprofundar os conceitos que a IA apenas introduz.

A introdução de discussões que estimulem a análise crítica das respostas da IA promove um ambiente investigativo, onde os alunos podem desenvolver habilidades de pensamento crítico e autonomia na busca pelo conhecimento. Nessa direção, a perspectiva freiriana de educação, centrada na problematização e no diálogo (Freire, 1982), fortalece o papel do professor como mediador crítico, e não como mero transmissor de conteúdo. Também dialoga com a aprendizagem significativa, proposta por Ausubel (Moreira, 1982), que depende da integração de novos conteúdos à estrutura cognitiva do aluno, sendo prejudicada quando se baseia apenas na memorização de respostas automáticas.

Além disso, observou-se uma discrepância em relação às limitações da Teoria de Arrhenius quando comparadas com o referencial teórico utilizado. No exemplo da amônia C3, conforme apresentado no NEM, ela

não foi considerada uma base segundo Arrhenius. No entanto, Kotz e Treichel (2002, p. 65) afirmam que “o hidróxido de sódio é evidentemente uma base, assim como a amônia. Embora a amônia (NH₃) não contenha explicitamente o íon hidróxido em sua fórmula, ao se ionizar na água, libera esse íon.” Atkins e Jones (2012, p. F73), corroboram com esse entendimento ao afirmar que “a amônia também é uma base de Arrhenius, porque produz íons OH⁻ ao reagir com a água”.

C3: Limitações da Teoria: Embora a teoria de Arrhenius seja um ponto de partida importante, ela tem algumas limitações: Soluções aquosas: A teoria só se aplica a reações que ocorrem em água, o que exclui sistemas em outros solventes. Bases que não contêm OH⁻: Compostos como a amônia (NH₃), que agem como bases ao aceitar prótons (H⁺), não são reconhecidos como bases por Arrhenius, apesar de seu comportamento básico em solução. Essas limitações são superadas por teorias mais abrangentes, como as de Brønsted-Lowry e Lewis (OpenAI, 2024).

Contudo, a classificação da amônia como base de Arrhenius ou apenas de Brønsted-Lowry e Lewis é alvo de discussão em vários livros do ES. Segundo Paik (2015, p.p 1486-1487, tradução nossa), "muitos livros didáticos apresentam o NH₃ como uma base de Brønsted-Lowry [...] em contraste, alguns livros didáticos explicam que, como o NH₃ pode liberar um ânion OH⁻ ao se dissolver em água, ele é uma base de Arrhenius". Comparando essa abordagem com o referencial teórico utilizado, pode-se identificar um possível erro, portanto, embora o erro da IA seja justificável em parte pela diversidade de fontes no treinamento, ele reforça a necessidade de validação humana.

Leite (2023) reforça essa visão, destacando que o uso de IA incluindo o ChatGPT, deve ser acompanhado por mediação pedagógica, uma vez que a ferramenta não é capaz de realizar abstrações e raciocínios complexos, como os desenvolvidos em interações entre professor e aluno. O risco do estudante "copiar e colar" as respostas da IA sem reflexão pode ser mitigado se os professores ensinarem a seleção e avaliação crítica dessas informações.

É importante destacar que limitar a explicação do comportamento da amônia à Teoria de Arrhenius, assim como realizado pelo ChatGPT, não é mais adequado. As definições de Brønsted-Lowry e Lewis, são mais compatíveis para descrever o caráter básico da amônia, uma vez que consideram a aceitação de prótons e a doação de pares eletrônicos, respectivamente. Assim, é fundamental não limitar a análise de ácidos e bases à definição de Arrhenius, visto que teorias mais abrangentes proporcionam uma compreensão mais completa de diversas substâncias, como é o caso da amônia. Portanto, usar a amônia como exemplo de base ou não base de Arrhenius pode ser inadequado e levar a equívocos conceituais. Trata-se de um exemplo de erro epistemológico, nos termos de Bachelard (1996), quando concepções anteriores, mesmo já superadas, continuam sendo aplicadas de forma inadequada, dificultando avanços na compreensão científica.

Em contrapartida, a Teoria de Brønsted-Lowry não se limita a água como solvente, além de ser aplicada para substâncias gasosas e até sem solventes, superando as limitações da Teoria de Arrhenius (Atkins e Jones 2012; Kotz e Treichel, 2002). As respostas do ChatGPT para o prompt ES/Brønsted-Lowry mostraram-se coerentes com os conceitos presentes nos livros do ES, apresentando definições compatíveis com a literatura. As três contas (C1, C2 e C3) forneceram explicações semelhantes entre si, incluindo após o pedido de melhora, com pequenos ajustes de linguagem, mas mantendo consistência conceitual. Um exemplo pode ser observado na resposta da conta (C3):

C3: ácido de acordo com Brønsted-Lowry é uma substância que pode doar um próton (H⁺) a outra substância. Em termos mais técnicos, um ácido é um doador de prótons. Por exemplo, no caso do ácido clorídrico (HCl): $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$. Aqui, o HCl doa um próton (H⁺) para a água ou qualquer outra substância que aceite esse próton, funcionando assim como um ácido. Base de acordo com Brønsted-Lowry é uma substância que pode aceitar um próton (H⁺) de outra substância. Em termos mais técnicos, uma base é um aceitador de prótons. Por exemplo, no caso do hidróxido de sódio (NaOH), [...] Cada reação ácido-base de Brønsted-Lowry forma dois pares conjugados. Um ácido, após doar um próton, torna-se sua base conjugada, enquanto a base, após aceitar um próton, torna-se seu ácido conjugado (OpenAI, 2024).

É importante lembrar que, mesmo quando apresenta maior detalhamento conceitual, o ChatGPT não compreende os conteúdos em termos humanos. Como destacam Trust *et al.* (2023), o modelo apenas prevê padrões linguísticos plausíveis, sem domínio real dos conceitos envolvidos. Dessa forma, o uso educacional da IA exige atenção para que não se confunda coerência textual com exatidão científica. Além disso, para integrar o ChatGPT no ensino, é fundamental estimular a curiosidade dos alunos e incentivá-los a ir além das respostas geradas pela IA. Conforme defende Zabala (1998), compreender um conceito exige ser capaz de aplicá-lo a diferentes contextos e situações, o que requer mais do que respostas prontas.

O ChatGPT apresenta ES/Lewis, destacando a sua abrangência ao incluir interações que não dependem da transferência de prótons, como acontece na Teoria de Brønsted-Lowry, mas envolvendo a transferência de elétrons. As respostas geradas nas três contas (C1, C2 e C3), inclusive após o pedido de melhora, apresentaram explicações conceitualmente corretas e consistentes entre si, com variações mínimas de forma e linguagem. Um exemplo pode ser observado na resposta da conta (C3).

C3: **Ácido de Lewis:** É uma substância que pode aceitar um par de elétrons para formar uma ligação covalente. Em outras palavras, é uma espécie química que tem um orbital vazio ou uma lacuna na sua camada de valência que pode receber um par de elétrons. **Base de Lewis:** É uma substância que pode doar um par de elétrons para formar uma ligação covalente. Ou seja, é uma espécie química que possui um par de elétrons disponíveis para formar uma nova ligação com um ácido de Lewis (OpenAI, 2024).

A Teoria de Lewis é mais ampla do que a Teoria de Brønsted-Lowry, podendo envolver átomos e íons metálicos funcionando como ácidos de Lewis (Atkins & Jones, 2012). A terminologia técnica empregada pela IA está alinhada com a encontrada em livros didáticos de ES, além disso engloba diversos conteúdos para fornecer uma explicação detalhada. Portanto, o ChatGPT fornece uma abordagem adequada para o ES em relação a Teoria de Lewis, mostrando o domínio do conteúdo sem cometer erros conceituais e com linguagem que corresponda ao nível de profundidade esperado em livros acadêmicos.

Em relação a ES/Pearson, o ChatGPT cometeu erros em duas contas (C1 e C3) ao confundir a explicação com a Teoria de Lewis (OpenAI, 2024).

C1: Definição de Ácido e Base segundo Pearson:

- Ácido: Qualquer espécie capaz de aceitar um par de elétrons.
- Base: Qualquer espécie capaz de doar um par de elétrons (OpenAI, 2024).

C3: A teoria de Pearson, conhecida como teoria do ácido-base de Pearson ou conceito de "ácido de Lewis e base de Lewis", define ácidos e bases com base na capacidade de aceitar ou doar pares de elétrons. **Ácido de Lewis:** Um ácido de Lewis é uma substância que pode aceitar um par de elétrons para formar uma nova ligação covalente. Em outras palavras, um ácido de Lewis é um agente que tem uma deficiência de elétrons, o que lhe permite se ligar a uma base de Lewis através da aceitação de um par de elétrons. Um exemplo clássico de ácido de Lewis é o íon de hidrogênio (H^+), que não possui elétrons e, portanto, pode aceitar um par de elétrons de uma base de Lewis. **Base de Lewis:** Uma base de Lewis é uma substância que pode doar um par de elétrons para formar uma nova ligação covalente. Em termos simples, uma base de Lewis possui um par de elétrons não compartilhados que pode ser oferecido a um ácido de Lewis. Um exemplo de base de Lewis é a amônia (NH_3), que possui um par de elétrons não compartilhados no átomo de nitrogênio que pode ser doado para um ácido de Lewis (OpenAI, 2024).

Na resposta da conta (C3) após o *Prompt* de melhoramento o ChatGPT consegue reformular a resposta, oferecendo o conteúdo a partir da Teoria de Pearson, não apresentando o erro conceitual. Em contrapartida, em (C1) ele fornece inicialmente uma resposta exata sobre a Teoria de Pearson, e após ser solicitado para melhorar a resposta fornece explicações de Lewis, confundindo as teorias.

Segundo Emenike e Emenike (2023, p. 1416, tradução nossa) “a primeira resposta do ChatGPT a um pedido de modelo é frequentemente insatisfatória. Embora o usuário possa passar por uma série de interações com o ChatGPT, chega um ponto em que esse processo oferece retornos mínimos”. Ou seja, após algumas

tentativas de ajuste, a qualidade das respostas tende a se estabilizar, não resultando em melhorias substanciais, evidenciando a importância da avaliação humana na qualidade das respostas geradas por IA.

Segundo Trust *et al.* (2023, p. 7, tradução nossa) o ChatGPT “é programado para prever quais palavras se encaixam melhor juntas para gerar texto que soe plausível”. Embora o ChatGPT seja capaz de gerar respostas convincentes e até corretas, ele se baseia em padrões probabilísticos para prever as palavras mais adequadas. Nesse sentido, é importante lembrar que a IA não tem uma compreensão real dos conceitos, mas sim uma habilidade de replicar padrões linguísticos que pareceriam coerentes para o leitor. Como apontado por Talanquer (2023, p. 2823, tradução nossa) “o objetivo de um chatbot é produzir uma resposta plausível e não necessariamente uma resposta ‘verdadeira’” o que explica a tendência do modelo de priorizar respostas que soam coerentes, mas que podem carecer de rigor conceitual.

Isso explica o motivo pelo qual, em (C1), o ChatGPT inicialmente acertou ao definir a Teoria de Pearson, mas, ao ser solicitado para melhorar a resposta, introduziu conceitos da Teoria de Lewis, confundindo as duas abordagens. Esse erro reflete o foco da IA em fornecer respostas que “soem bem”, mesmo que não sejam tecnicamente corretas. Pode-se inferir que os estudantes que usam esta ferramenta para auxiliar em seus estudos podem receber respostas incorretas, e as respostas fornecidas podem diferir entre os usuários (Leon & Vidhani, 2023). Os erros conceituais apresentados pelo ChatGPT tanto para ES quanto para NEM variam entre diferentes contas, o que indica que a IA pode fornecer respostas corretas em uma situação e respostas com erros conceituais em outra.

O ChatGPT comete outro erro em (C2) ao afirmar que “ácidos duros são espécies químicas que possuem uma alta densidade de carga positiva e uma pequena camada eletrônica ao redor do núcleo, o que os torna altamente polarizáveis” (OpenAI, 2024). Segundo Costa *et al.* (2005, p. 36) “uma espécie, seja ela ácido ou uma base, é dita mole, significa que ela é facilmente polarizável [...] por outro lado, se uma espécie é dita dura, ela apresenta pouca polarizabilidade”. Esse equívoco demonstra que o ChatGPT pode gerar informações incorretas ao interpretar erroneamente termos técnicos.

Diante disso, é fundamental que os professores abandonem o modelo de “educação bancária”, onde o aluno é tratado como mero receptor de informações. Deve-se, ao invés disso, adotar a perspectiva da educação libertadora de Paulo Freire. Do mesmo modo, a educação libertadora promove a formação de estudantes como investigadores críticos, em diálogo constante com o professor (Brighente & Mesquida, 2016). Portanto é importante problematizar o uso do ChatGPT, em vez de simplesmente proibir o uso, o professor deve incentivar uma reflexão sobre como essas tecnologias podem ser utilizadas de forma crítica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que o ChatGPT consegue oferecer definições sobre os conceitos ácido-base, mas a profundidade das respostas varia de acordo com o nível de ensino proposto, demonstrando a sua capacidade em adaptar as respostas para os diferentes públicos. Para o NEM, as explicações tendem a ser mais simplificadas, frequentemente utilizando a Teoria de Arrhenius. A simplificação observada no NEM pode levar os estudantes a uma compreensão superficial dos conceitos, conduzindo ao obstáculo epistemológico relacionado ao conhecimento geral (Bachelard, 1996). Por outro lado, para o ES, a IA oferece uma abordagem mais abrangente e linguagem adequada ao público alvo, além da inclusão de outras teorias, como as de Brønsted-Lowry e Lewis.

Ademais, observam-se falhas, como a mistura entre as Teorias de Arrhenius e Brønsted-Lowry, tanto para o NEM quanto para o ES, e imprecisões entre as Teorias de Lewis e Pearson no contexto do ES. O ChatGPT, portanto, consegue transitar entre as diferentes teorias, mas a troca entre elas nem sempre é conceitualmente correta. Além disso, os erros conceituais observados não são consistentes, variando entre diferentes contas, o que evidencia um risco potencial de que a IA ofereça informações corretas em algumas situações e, em outras, apresente respostas com equívocos conceituais.

Pode-se afirmar que o ChatGPT é preciso ao gerar respostas genuinamente coerentes e homologadas com o que foi solicitado. No entanto, devido aos grandes números de erros conceituais ele não é exato. Assim, um estudante que busca informações exatas sobre química seria melhor atendido consultando livros didáticos

como já apontado por Clark (2023). Ainda assim, aqueles com certo domínio do assunto têm menor probabilidade de serem influenciados por erros do ChatGPT. Já para alunos iniciantes, essas falhas podem causar equívocos e prejuízos no aprendizado caso não consigam distinguir as informações incorretas. Além disso, o uso da IA apenas para resolver questões, escrever textos ou realizar pesquisas em geral, sem uma reflexão crítica, pode levar ao desenvolvimento da dependência, afetando tanto a criatividade quanto o senso crítico dos estudantes.

No plano pedagógico, a mediação docente é indispensável para garantir um processo educativo verdadeiramente libertador, dialógico e crítico, como defende Freire (1982). A adoção acrítica de tecnologias, como o ChatGPT, sem a orientação de um educador, pode reforçar práticas passivas e distanciar-se da perspectiva problematizadora que busca desenvolver a autonomia intelectual dos estudantes. Nesse sentido, Ramos (2013) ressalta que o ensino deve ir além da simples transmissão de conteúdos, promovendo sentidos, significados e a construção ativa do conhecimento. Em articulação com essa visão, a aprendizagem significativa proposta por Ausubel (Moreira, 1982), ocorre quando novos conteúdos se integram de forma lógica e substancial à estrutura cognitiva pré-existente dos alunos, o que exige clareza, contextualização e a ativação de conhecimentos prévios. No entanto, como evidenciado na análise, embora o ChatGPT seja capaz de fornecer definições conceituais, ele nem sempre estabelece essas conexões com a profundidade e coerência necessárias, o que pode comprometer o processo de construção do conhecimento.

Portanto, embora o ChatGPT apresente potencial como ferramenta de apoio pedagógico, é recomendável que seu uso seja acompanhado de materiais didáticos confiáveis, como os livros aprovados pelo PNLD para o NEM (Santos, 2020a; 2020b) e obras consagradas no ES, como Kotz e Treichel (2002), Atkins e Jones (2012) e Costa *et al.* (2005). Além disso, o uso da IA deve ser planejado e orientado com base em estratégias pedagógicas que promovam o pensamento crítico, como apontam Zabala (1998) e Freire (1982), incluindo atividades que incentivem a problematização, o diálogo e a mediação reflexiva. Fergus *et al.* (2023, p. 1675, tradução nossa) destacam que “o uso de resolução de problemas, interpretação de dados ou perguntas baseadas em estudos de caso são maneiras de redesenhar a avaliação para além das perguntas baseadas em conhecimento” apontando para a necessidade de práticas pedagógicas que desenvolvam habilidades cognitivas e promovam o pensamento crítico dos estudantes. Nesse sentido, o uso de ferramentas digitais, como o ChatGPT, deve ser visto como um recurso complementar que pode enriquecer o processo de ensino-aprendizagem, desde que aplicado de forma crítica e reflexiva (Clark, 2023; Leite, 2023).

Assim, é importante criar tarefas que não apenas requeiram respostas objetivas, mas incentivem os alunos a questionar as informações obtidas, cruzar diferentes fontes e desenvolver suas próprias interpretações, evitando o uso passivo da tecnologia. No entanto, isso só será eficaz se os professores incentivarem os alunos a desenvolverem uma postura reflexiva, analisando as informações fornecidas e questionando-as, transformando a sala de aula em um ambiente de construção coletiva do conhecimento. Assim, a utilização da tecnologia não deve reforçar a educação bancária, mas sim potencializar a educação libertadora de Paulo Freire, onde os alunos, em diálogo com o professor e com as ferramentas digitais, se tornam protagonistas do seu processo de aprendizagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adel, A., Ahsan, A., & Davison, C. (2024). ChatGPT Promises and Challenges in Education: Computational and Ethical Perspectives. *Education Sciences*, 14(8), 814–814. <https://doi.org/10.3390/educsci14080814>
- Amabis, J. M., Martho, G. R., Ferraro, N. G., Penteadó, P. C. M., Torres, C. M. A., Soares, J., Canto, E. L. do, & Leite, L. C. C. (2020). *Moderna plus: ciências da natureza e suas tecnologias: Manual do professor* (1st ed., Vol. 2). Moderna.
- Araújo, M., Junior, F. S. T., Silva, F. A. D., Rodrigues, C. A. D., & Monteiro, J. R. (2024). A Importância Do Pensamento Crítico Na Educação Para A Vida Pessoal I. Introdução. *IOSR Journal of Humanities and Social Science (IOSR-JHSS)*, 29, 51–57. <https://doi.org/10.9790/0837-2906055157>
- Atkins, P., & Jones, L. (2012). *Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna* (5th ed., p. 922). Bookman.

- Bachelard, G. (1996). *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento* (p. 316). Contraponto.
- Brighente, M. F., & Mesquida, P. (2016). Paulo Freire: da denúncia da educação bancária ao anúncio de uma pedagogia libertadora. *Pro-Posições*, 27(1), 155–177. <https://doi.org/10.1590/0103-7307201607909>
- Brown, T., Mann, B. F., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Prafulla Dhariwal, Arvind Neelakantan, Pranav Shyam, Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Jeffrey C.S. Wu, Winter, C., & Hesse, C. (2020). Language Models Are Few-Shot Learners. *ArXiv*, 4. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2005.14165>
- Clark, T. M. (2023). Investigating the use of an Artificial Intelligence Chatbot with General Chemistry Exam Questions. *Journal of Chemical Education*, 100(5), 1905–1916. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00027>
- Clark, T. M., Anderson, E., Dickson-Karn, N. M., Comelia Soltanirad, & Tafini, N. (2023). Comparing the Performance of College Chemistry Students with ChatGPT for Calculations Involving Acids and Bases. *Journal of Chemical Education*, 100(10), 3934–3944. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00500>
- Coelho Neto, J., Blanco, M. B., & Araújo, R. N. de. (2019). As tecnologias digitais para o ensino de ciências: Percepções, desafios e possibilidades para o contexto educacional. *Ensino de Ciências E Tecnologia Em Revista*, 9(2). <https://doi.org/10.31512/encitec.v9i2.2218>
- Costa, P., Ferreira, V., Esteves, P., & Vasconcellos, M. (2005). *Ácidos e Bases em Química Orgânica* (p. 151). Bookman.
- Duque-Pereira, S., & Arruda, S. (2023). Compreendendo a Inteligência Artificial generativa na perspectiva da língua. *SciELO (SciELO Preprints)*. <https://doi.org/10.1590/scielopreprints.7077>
- Emenike, M. E., & Emenike, B. U. (2023). Was This Title Generated by ChatGPT? Considerations for Artificial Intelligence Text-Generation Software Programs for Chemists and Chemistry Educators. *Journal of Chemical Education*, 100(4). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00063>
- Eugenio, I. D., Augusto, L., Santos, & Gustavo Bizarria Gibin. (2023). Inteligência Artificial frente a resolução de exercícios de química: um estudo exploratório com o ChatGPT. *Colloquium Humanarum*, 20(1), 461–476. <https://doi.org/10.5747/ch.2023.v20.h571>
- Faustino, L. de L. (2023). *Problemas potencialmente significativos para o ensino e aprendizagem das teorias ácido-base de Brønsted-Lowry e Lewis* [Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Centro-Oeste]. <http://tede.unicentro.br:8080/jspui/handle/jspui/2141>
- Fergus, S., Botha, M., & Ostovar, M. (2023). Evaluating Academic Answers Generated Using ChatGPT. *Journal of Chemical Education*, 100(4). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00087>
- Firestone, W. A. (1987). Meaning in Method: The Rhetoric of Quantitative and Qualitative Research. *Educational Researcher*, 16(7), 16–21. <https://doi.org/10.3102/0013189x016007016>
- Flick, U. (2009). *Introdução à pesquisa qualitativa* (3rd ed., p. 405). Artmed.
- Freire, P. (1982). *Pedagogia do Oprimido* (11th ed., Vol. 21). Paz e Terra.
- Freitas, A. (2024, April 17). *Governo de SP avalia utilizar inteligência artificial para “aprimorar” conteúdo digital nas escolas estaduais*. G1. <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2024/04/17/governo-de-sp-avalia-utilizar-inteligencia-artificial-para-aprimorar-conteudo-digital-nas-escolas-estaduais.ghtml>
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisas sociais* (6th ed.). Atlas.
- Guan, Z., Lv, J., Bai, P., & Guo, X. (2016). Boron removal from aqueous solutions by adsorption — A review. *Desalination*, 383, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.12.026>

- Guo, Y., & Lee, D. (2023). Leveraging ChatGPT for Enhancing Critical Thinking Skills. *Journal of Chemical Education*, 100(12). <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00505>
- Hallal, K., Hamdan, R., & Tlais, S. (2023). Exploring the potential of AI-Chatbots in organic chemistry: An assessment of ChatGPT and Bard. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100170>
- Herbst, M. (2022). A definição ácido-base de Arrhenius dos livros-textos de química: a história de um obstáculo epistemológico e suas consequências para o ensino-aprendizagem. *História Da Ciência E Ensino Construindo Interfaces*, 25, 19–30. <https://doi.org/10.23925/2178-2911.2022v25p19-30>
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of Chemistry - Logical or Psychological? *Chemistry Education Research and Practice*, 1(1), 9–15. <https://doi.org/10.1039/A9RP90001B>
- Kotz, J. C., & Treichel, P. (2002). *QUÍMICA e Reações Químicas* (4th ed., Vol. 2, p. 345). LTC.
- Leite, B. S. (2019). Tecnologias no Ensino de Química: passado, presente e futuro. *Scientia Naturalis*, 1(3), 326–340. <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/2570>
- Leite, B. S. (2023). Inteligência Artificial e Ensino de Química: uma análise propedêutica do ChatGPT na definição de conceitos químicos. *Química Nova*, 46(9), 915–923. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20230059>
- Leon, A., & Vidhani, D. V. (2023). ChatGPT Needs a Chemistry Tutor Too. *Journal of Chemical Education*, 100(10), 3859–3865. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00288>
- MEC. (2017). Resolução CNE/CP N° 2, de 22 de dezembro de 2017. Conselho Nacional de Educação. Brasília, DF: MEC/CNE. Recuperado de: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=79631-rcp002-17-pdf&category_slug=dezembro-2017-pdf&Itemid=30192
- Moreira, M. A. (1982). *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel* (p. 112). Moraes.
- Moreira, M. A. (2003). Pesquisa em ensino: aspectos metodológicos. *Actas Del PIDECE: Programa Internacional de Doctorado Em Enseñanza de Las Ciencias*, 5, 101–136.
- Nazari, M., & Saadi, G. (2024). Developing effective prompts to improve communication with ChatGPT: a formula for higher education stakeholders. *Discover Education*, 3(45). <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00122-w>
- OpenAI. (2024). *ChatGPT (GPT-4)*. Recuperado em agosto de 2024 de: <https://chat.openai.com>
- Paik, S.-H. (2015). Understanding the Relationship Among Arrhenius, Brønsted–Lowry, and Lewis Theories. *Journal of Chemical Education*, 92(9), 1484–1489. <https://doi.org/10.1021/ed500891w>
- Pardos, Z. A., & Bhandari, S. (2023). Learning gain differences between ChatGPT and human tutor generated algebra hints. *ArXiv*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2302.06871>
- Qadir, J. (2023). Engineering Education in the Era of ChatGPT: Promise and Pitfalls of Generative AI for Education. *2023 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/educon54358.2023.10125121>
- Quadros, A. L. de, Silva, D. C. da, Andrade, F. P. de, Aleme, H. G., Oliveira, S. R., & Silva, G. de F. (2011). Ensinar e aprender Química: a percepção dos professores do Ensino Médio. *Educar Em Revista*, 40, 159–176. <https://doi.org/10.1590/S0104-40602011000200011>
- Ramos, D. K. (2013). A Aprendizagem Colaborativa e a Educação Problematizadora para um Enfoque Globalizador. *Cadernos Da Pedagogia*, 6(12), 105–115.

- Rodrigues, M. G., & Machado, J. (2023). A Natureza da representação a partir do referencial de Bas van Fraassen e a atribuição de sentido ao conhecimento químico escolar. *Ensaio Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 25(e42326), 1–15. <https://doi.org/10.1590/1983-21172022240154>
- Sallam, M. (2023). ChatGPT Utility in Healthcare Education, Research, and Practice: Systematic Review on the Promising Perspectives and Valid Concerns. *Healthcare*, 11(6), 887. <https://doi.org/10.3390/healthcare11060887>
- Santos, K. C. dos (Ed.). (2020a). *Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias: manual do professor/organizadora Editora Moderna; obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida pela Editora Moderna* (1st ed., Vol. 5). Moderna.
- Santos, K. C. dos (Ed.). (2020b). *Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias: manual do professor/organizadora Editora Moderna; obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida pela Editora Moderna* (1st ed., Vol. 6). Moderna.
- Silva, F. C. V. D., & Amaral, E. M. R. D. (2020). Articulando conhecimentos científicos e práticos sobre ácidos/bases: uma análise de formas de falar e modos de pensar de licenciandos em química e cabeleireiras. *Ensaio Pesquisa Em Educação Em Ciências (Belo Horizonte)*, 22. <https://doi.org/10.1590/21172020210124>
- Souza, F. de M., & Aricó, E. M. (2017). Teorias ácido-base no século XX e uma análise reflexiva do trabalho científico. *Educación Química*, 28(4), 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2017.07.002>
- Souza, L. B. P., Joerke, G. A. O., Macedo, Y. M., Vale, R. F., Oliveira, A. de P. J., Santo, M. S. D., Gomes, C. A., Gomes, S. C. V., Alberti, R., & Paz, J. F. D. (2023). Inteligência Artificial na educação: rumo a uma aprendizagem personalizada. *IOSR Journal of Humanities and Social Science (IOSR-JHSS)*, 25(5), 19–25. <https://doi.org/10.9790/0837-2805031925>
- Talanquer, V. (2023). Interview with the Chatbot: How Does It Reason? *Journal of Chemical Education*, 100(8), 2821–2824. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00472>
- Tlili, A., Shehata, B., Adarkwah, M. A., Bozkurt, A., Hickey, D. T., Huang, R., & Agyemang, B. (2023). What if the devil is my guardian angel: ChatGPT as a case study of using chatbots in education. *Smart Learning Environments*, 10(15). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00237-x>
- Triviños, A. N. S. (2011). *Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação* (1st ed., Vol. 20). ATLAS.
- Trust, T., Whalen, J., & Mouza, C. (2023). Editorial: ChatGPT: Challenges, Opportunities, and Implications for Teacher Education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 23(1), 1–23. <https://www.learntechlib.org/primary/p/222408/>
- Tyson, J. F. (2023). Shortcomings of ChatGPT. *Journal of Chemical Education*, 100(8), 3098–3101. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00361>
- Wartha, E. J., & Rezende, D. de B. (2016). Os Níveis de Representação no Ensino de Química e as Categorias de Semiótica de Pierce. *Investigações Em Ensino de Ciências*, 16(2), 275–290. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/230>
- West, J. K., Franz, J. L., Hein, S. M., Leverentz-Culp, H. R., Jonathon Fredrick Mauser, Ruff, E. F., & Zemke, J. M. (2023). An Analysis of AI-Generated Laboratory Reports across the Chemistry Curriculum and Student Perceptions of ChatGPT. *Journal of Chemical Education*, 100(11), 4351–4359. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00581>
- Yik, B. J., & Dood, A. J. (2024). ChatGPT Convincingly Explains Organic Chemistry Reaction Mechanisms Slightly Inaccurately with High Levels of Explanation Sophistication. *Journal of Chemical Education*, 101(5), 1836–1846. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00235>

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 1–27. Springeropen. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>

Zabala, A. (1998). *A prática educativa: como ensinar* (p. 224). Artmed.

Elisson Olczewski

Licenciado em Química na Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG.
Mestrando em Química no Programa de Pós-Graduação em Química (PPG-Q), Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG.
E-mail: eolczewski@gmail.com

Renato Marcondes

Doutorando em Ensino de Ciência e Tecnologia pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR.
E-mail: renatomarcondes.renato@gmail.com

Larissa Sens

Doutora em Química pelo Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.
Professora do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) - Assistente Classe A1.
E-mail: larissasens@hotmail.com

Declaração de conflito de interesse

A autoria declara não haver conflitos de interesse envolvidos na publicação deste manuscrito.

Declaração sobre disponibilização de dados

Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo foi disponibilizado no Dataverse da SciELO e pode ser acessado em <https://doi.org/10.48331/SCIELODATA.SOOKKF>.

Editor Responsável

Dra. Marina Martins

Contato

Centro de Ensino de Ciências e Matemática de Minas Gerais – CECIMIG
Faculdade de Educação – Universidade Federal de Minas Gerais
revistapec@gmail.com

O CECIMIG agradece ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pela verba para a editoração deste artigo.