

<https://doi.org/10.56117/resbenq.2026.v7.e072614>

Inteligência Artificial e o Ensino de Química: um debate crítico para além do uso fetichizado

Artificial Intelligence and Chemistry Learning: a critical debate beyond fetishized use

Inteligencia Artificial y Enseñanza de la Química: un debate crítico más allá del uso fetichizado

Lucas Vivas de Sá (lucasvivas@live.com)
Universidade Federal da Bahia
<https://orcid.org/0000-0003-4014-0692>

Hélio da Silva Messeder Neto (messeder3@gmail.com)
Universidade Federal da Bahia
<https://orcid.org/0000-0002-6620-2989>

Resumo

O presente trabalho apresenta um cunho teórico que objetiva tensionar os debates sobre o uso crítico da inteligência artificial (IA) no ensino de química. Assim como toda tecnologia, a inteligência artificial carrega intencionalidades relativas à sociedade capitalista em que vivemos, e o aspecto político-social desses recursos não pode ser esquecido no debate educacional e no ensino de química. A literatura tem apontado diversas potencialidades no uso desses recursos na educação; no entanto, na maioria das vezes, a discussão gira em torno da melhor forma de usar os comandos da IA e da análise crítica das respostas que são dadas. Entendemos que, apesar de importante, ficar apenas nesse debate fetichiza o uso da inteligência artificial, retirando a base sócio-material que está por trás dela. Assim, acreditamos que o fluxo produtivo da produção da IA pode servir como base para discutir aspectos relativos à mineração de elementos químicos, questões químicas ambientais, além de entender como podemos usar esse recurso para preparar materiais e auxiliar em sala de aula, sem perder de vista o contexto humano e ideológico por trás da produção e treinamento das inteligências artificiais, contribuindo, portanto, para ir além de um uso fetichizado. Levando em consideração a importância de se debater como podemos usar as funcionalidades da IA e avaliar os seus resultados, concluímos que precisamos avançar



Este texto é licenciado pela [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

para discussões que superem apenas o operacionalismo das inteligências artificiais no ensino de química, de modo que a palavra “crítica” ganhe um sentido quando usada para pensar nesses recursos.

Palavras-chave: Inteligência Artificial. Materialismo Histórico-Dialético. Ensino de Química.

Abstract

The present study has a theoretical orientation and aims to challenge debates on the critical use of artificial intelligence (AI) in teaching of chemistry. Like any technology, artificial intelligence carries intentions related to the capitalist society in which we live, and the socio-political dimension of these resources must not be overlooked in educational discussions and in chemistry education. The literature has pointed out several potentialities in the use of these resources in education; however, most discussions focus on the best ways to use AI prompts and on the critical analysis of the responses generated. We argue that, although important, limiting the debate to this level fetishizes the use of artificial intelligence by removing the socio-material basis that underlies it. Thus, we believe that the productive flow of AI development can serve as a foundation for discussing issues related to the mining of chemical elements and environmental chemistry, as well as for understanding how these tools can be used to prepare materials and support classroom activities without losing sight of the human and ideological context behind the production and training of artificial intelligence systems. This perspective contributes to moving beyond a fetishized use of AI. While recognizing the importance of discussing how AI functionalities can be used and how their outputs can be evaluated, we conclude that it is necessary to advance toward debates that go beyond the mere operational use of artificial intelligence in chemistry education, so that the term “critical” acquires substantive meaning when applied to these resources.

Keywords: Artificial Intelligence. Historical-Dialectical Materialism. Chemistry Education.

Resumen

El presente trabajo tiene un carácter teórico y tiene como objetivo tensionar los debates sobre el uso crítico de la inteligencia artificial (IA) en la enseñanza de la química. Al igual que toda tecnología, la inteligencia artificial incorpora intencionalidades propias de la sociedad capitalista en la que vivimos, y la dimensión sociopolítica de estos recursos no puede ser olvidada en el debate educativo y en la enseñanza de la química. La literatura ha señalado diversas potencialidades en el uso de estos recursos en la educación; sin embargo, en la mayoría de los casos, la discusión se centra en la mejor manera de utilizar los comandos de la IA y en el análisis crítico de

las respuestas generadas. Sostenemos que, aunque este debate es importante, limitarse a él fetichiza el uso de la inteligencia artificial, al invisibilizar la base socio-material que la sustenta. De este modo, consideramos que el flujo productivo del desarrollo de la IA puede servir como base para discutir aspectos relacionados con la minería de elementos químicos y cuestiones de la química ambiental, así como para comprender cómo estos recursos pueden utilizarse en la elaboración de materiales y en el apoyo a las actividades en el aula, sin perder de vista el contexto humano e ideológico que subyace a la producción y el entrenamiento de los sistemas de inteligencia artificial. Esta perspectiva contribuye, por lo tanto, a ir más allá de un uso fetichizado de la IA. Teniendo en cuenta la importancia de debatir cómo pueden utilizarse las funcionalidades de la IA y de evaluar sus resultados, concluimos que es necesario avanzar hacia discusiones que superen el mero operacionalización de la inteligencia artificial en la enseñanza de la química, de modo que el término “crítico” adquiera un sentido sustantivo cuando se emplea para pensar estos recursos.

Palabras clave: Inteligencia Artificial. Materialismo Histórico-Dialéctico. Enseñanza de la Química.

Introdução

O debate sobre o uso das tecnologias digitais no ensino de química não é algo recente. Diversas pesquisas (Giordan, 1998; Leite, 2021; Pauletti et al., 2017) já vêm tratando do assunto, principalmente a partir da década de 1980 e 1990, quando há uma maior popularização do computador pessoal e a disseminação da internet comercial (Castells, 2007; Lévy, 2010). Se tomarmos como exemplo a discussão sobre a formação de professores de Química para o uso das tecnologias digitais, a problemática aparece *pari passu* às pesquisas que visam as aplicações desses recursos em salas de aula, já que a premissa é de que, se vamos usar os aparatos tecnológicos em sala de aula, precisamos preparar os professores para isso.

Os recursos tecnológicos digitais avançam em uma velocidade que, muitas vezes, é difícil acompanhar. Se analisarmos o exemplo do aparelho celular, algo que antes era uma ferramenta de luxo, hoje é um recurso essencial para a sobrevivência dentro da sociedade capitalista e que apresenta uma quantidade infinita de funcionalidades. Essas mudanças são, por essência, acompanhadas de alterações sociais, a partir de como a tecnologia digital é colocada nas nossas vidas e como é utilizada e vista pelos indivíduos. Nesse sentido, o debate sobre o uso das tecnologias digitais na educação e, mais especificamente, no ensino de química precisa ser feito sem perder de vista as

mudanças sociais que surgem por conta desses aparatos. Os debates na nossa área não podem se furtar disso.

Recentemente houve a popularização da inteligência artificial (IA), que, apesar de não ter surgido agora, era inacessível de forma direta para a maior parte da população. A inteligência artificial, segundo a própria IA, seria “a área da ciência da computação que desenvolve sistemas capazes de realizar tarefas que normalmente exigem a inteligência humana” (OpenAI, 2025). Boratto (2023, p. 27) vai colocar que a IA pode ser entendida como “um conjunto de técnicas algorítmicas que tem como principal objetivo, através de uma forma artificial de raciocinar e com o uso da tecnologia, resolver situações ou problemas mais facilmente do que se fossem executados pelos humanos”, visão compartilhada, de certo modo, por Barroso e Mello (2024). Assim, em linhas gerais, temos, para os nossos objetivos, que a IA é um modelo de linguagem de programação que visa imitar e correlacionar a forma de pensamento humano pela tecnologia digital.

Influenciados pelo imaginário do cinema hollywoodiano, difundiram-se discursos apocalípticos que atribuem às inteligências artificiais uma suposta autonomia capaz de ameaçar a humanidade. No extremo oposto, emergem narrativas encantadas, inspiradas em visões como a de *Os Jetsons*, que idealizam o uso irrestrito das tecnologias digitais como solução para todas as dimensões da vida cotidiana e do trabalho. Autores como Veraszto et al. (2009) já comentavam sobre as visões otimistas e pessimistas relacionadas à tecnologia digital em geral, mas, agora, essas visões aparecem de forma mais evidente por conta das IAs.

Claro que as duas visões apresentam um exagero. No entanto, esse debate surge dentro da educação de maneira mais realista: de um lado, há uma defesa do banimento do uso das IA na educação e, com isso, no ensino de química; e, de outro lado, a defesa otimista do uso das IAs em sala de aula por elas representarem o futuro e serem uma possibilidade de auxílio ao professor e aos alunos. Na primeira perspectiva, entende-se que a IA atrapalha a atenção dos estudantes aos estudos ou faz com que eles não se apropriem dos conteúdos por causa do uso desenfreado dessa tecnologia no desenvolvimento do trabalho intelectual. Isso levou a situações, por exemplo, de proibição do uso de certas inteligências artificiais em escolas de Nova York (Barbosa, 2023).

Por outro lado, na segunda perspectiva, existem pesquisas (Cardoso et al., 2023; Leite, 2024; Soares & Silva, 2024) que apontam as potencialidades do uso desses recursos na educação e no ensino de química. Esses benefícios são colocados de modo a mostrar como a IA pode ser utilizada pelo professor como um apoio às atividades em sala de aula. Ela pode ser usada para preparar aulas, solicitando que a ferramenta crie ideias sobre determinados assuntos e materiais didáticos sobre os conteúdos; para pedir explicações mais aprofundadas sobre alguma questão; para elaborar recursos que possam ser utilizados em sala de aula; ou para atuar como um “membro” a mais da turma, instigando os alunos a debater com a IA, além de ajudar na discussão sobre conceitos químicos.

Todas essas formas de trabalhar a IA na educação têm algo em comum: elas apresentam uma visão instrumental (Peixoto & Araújo, 2012) da tecnologia digital. Essa visão leva em consideração a tecnologia apenas pela sua funcionalidade, desconsiderando ou elidindo aspectos sociais e culturais dela. Assim, o que importa é como podemos usar a tecnologia digital ao nosso favor, o que pode levar a um caráter alienante que, inclusive, muitas vezes se associa à concepção de neutralidade da tecnologia.

Portanto, a problemática que se coloca é: como podemos pensar um ensino de química que veja as inteligências artificiais de modo crítico, a partir de uma perspectiva que leva em consideração aspectos históricos, econômicos e culturais? Assim, o objetivo deste texto é tensionar os debates sobre o uso crítico da inteligência artificial na educação e entender como esse debate pode ser colocado no contexto do Ensino de Química. Este ensaio propõe uma reflexão crítica que aponta para a necessidade de superação da visão instrumental das IAs. Não almejamos aqui ditar receitas de ensino ou propor materiais para uso desses recursos em sala de aula, mas oferecer elementos que ajudem os professores, estudantes e pesquisadores no/do ensino de química a pensar as IAs de modo amplo e, assim, com autonomia e criatividade, incorporá-las ou não às suas práticas.

Uso crítico da inteligência artificial? Crítico a quê? A IA na sociedade capitalista

Em 20 de janeiro de 2025, Donald Trump, líder autoritário da extrema direita, tomou posse nos EUA para seu segundo mandato. Com lugar de destaque na cerimônia

de posse estavam os presidentes e donos das chamadas Big Techs (as grandes empresas globais de tecnologia da informação e comunicação), como Meta, Amazon, Tesla, SpaceX, Google e outros.¹

A presença de grandes nomes da tecnologia digital na posse de um político de extrema direita evidencia o que é preciso reiterar: não há tecnologias digitais sem política. As plataformas que usamos cotidianamente não são neutras nem inofensivas; elas transformam nossas ações, preferências e relações em dados. Isso nos obriga a perguntar quem controla, armazena e utiliza esses dados, e com que finalidade, remetendo-nos ao mundo social e político em que essas tecnologias se inserem.

A entrada das tecnologias digitais neste século surge e se populariza com a possibilidade de cooperação, coordenação e compreensão do mundo (Leite & Coletivo 660, 2023). A possibilidade que a internet trouxe foi vista com entusiasmo por muitos pesquisadores que entenderam que não mais seríamos apenas consumidores de conteúdo pela grande mídia, mas também produtores, o que tornaria a comunicação mais democrática (Lemos & Lévy, 2010). Na prática, sob a égide do sistema capitalista, que tem como célula a mercadoria, as tecnologias digitais tornaram-se, em grande maioria, monopólio do poder político e econômico dominante.

Em 2019, das dez empresas mais valiosas do mundo, somente duas não atuavam de alguma maneira no ramo da indústria digital. Juntas, essas empresas valiam mais de 10 trilhões de dólares (Faustino & Lippold, 2023). Esse poder, porém, não está apenas no seu valor assombroso, mas no modo como tais empresas ressignificam e pautam o tempo de trabalho, o controle e a produção na cidade e no campo, nossas formas de consumo, e de algum modo, nosso modo de desejar, nosso modo de sofrer e até nossas escolhas eleitorais². Deste modo,

Tecnologias digitais passam a ser primariamente desenvolvidas e utilizadas para que a classe capitalista amealhe ainda mais poder e amplie a dominação dos subalternos. Elas estabelecem o meio por onde circulam, hoje, as finanças globais, aprofundando a precarização e a informalidade do trabalho – sua “uberização” ou plataformização –, concentrando riquezas e ampliando a distância entre ricos e pobres. (Leite & Coletivo 660, 2023, p. 22)

¹ Adania, J.P. (2025, 21 Janeiro). Chefões da tecnologia aparecem em lugar de destaque na posse de Trump. *Isto É*. <https://istoe.com.br/chefoes-da-tecnologia-aparecem-em-lugar-de-destaque-na-posse-de-trump>.

² As eleições estadunidenses de 2018 e de 2024 tiveram influências explícitas das Big Techs. Para saber mais: Crisóstomo, M. (2025, 10 Julho). Os donos do mundo: big techs e a influência nas políticas locais e globais. *Diplomatique*. <https://diplomatique.org.br/os-donos-do-mundo-big-techs-e-a-influencia-nas-politicas-locais-e-globais/>

No uso dessas plataformas, transformamos todas as nossas práticas sociais em dados, fornecendo diariamente localizações, preferências, vontades, angústias, compras e necessidades, que, na mão da iniciativa privada, são usados, vendidos e armazenados sem transparência e com pouca regulação na maior parte dos países.

Os dados extraídos e minerados pelas plataformas digitais, controladas por grandes corporações de tecnologia do Norte global, constituem um importante ativo do capitalismo financeiro global. Dados produzidos por usuários dos países do Sul global são processados, tratados e armazenados em data centers localizados em outras regiões (não em um espaço comum, conforme sugere a metáfora da Nuvem), fora da jurisdição da origem do dado, sem que possa decidir de modo autônomo sobre seus usos, convertendo-se em um novo processo de colonização. (Penteado et al., 2023, p. 23)

O processo de plataformização coloniza dados e promove, também, um retorno quase colonial às formas de trabalho. Motoristas de aplicativo que trabalham mais de 12 horas por dia e pessoas que fazem entregas usando bicicletas alugadas são parte dessa nova configuração do chamado “mundo do trabalho”, sob o discurso tentador de que “você é seu próprio chefe”, no qual as tecnologias são arcabouços indispensáveis. O capitalismo de plataforma é a protoforma do capitalismo, como bem nos ensina Antunes (2020, p. 30):

[...] em pleno século XXI, estamos vivenciando a recuperação de sistemáticas do trabalho que foram utilizadas durante o que podemos denominar protoforma do capitalismo, isto é, os primórdios do capitalismo. Podemos indicar, como expressão do que estamos argumentando, as jornadas diárias frequentemente superiores a oito, dez, doze, catorze horas; remuneração salarial rebaixada, em contraposição ao aumento e intensificação do trabalho (traço que vem se agudizando na pandemia); crescimento de um contingente sem acesso a qualquer direito social e do trabalho; entre tantos outros elementos que remetem aos inícios do capitalismo, à sua fase de acumulação primitiva.

Qualquer discussão sobre a IA que se queira ser crítica precisa partir de que não estamos falando de uma ferramenta digital em qualquer contexto, mas daquele que acabamos de descrever. O debate sobre seu uso ou não em sala de aula, sobre os tipos de perguntas que faremos etc., só tem sentido se entendermos que ela está inserida em um mundo capitalista e, se não entendermos o papel da tecnologia neste estágio do capitalismo, corremos o risco de anunciar que faremos um uso crítico da IA, quando, ao final, estaremos apenas repetindo o suposto uso neutro dela.

A inteligência artificial, como já destacamos na introdução, é um modelo de linguagem de programação que, de algum modo, teria como referência, no seu processo de elaboração, a inteligência humana. A IA generativa, essa que estamos

vendo entrar na nossa rotina e que comumente conhecemos como ChatGPT, Gemini, Dall-e são exemplos de sistemas automáticos que usam de algoritmos probabilísticos para, assim, extrair padrões de gigantes bases dados (Silveira, 2025). A IA generativa é composta de um sistema que roda em um ou mais hardwares, realizando tarefas para aquilo que foi criado, no entanto, há uma diferença central em relação a outros programas, que é muito bem explicada por Silveira (2025, pp. 74-75):

Diferentemente de um arquivo de computador que armazena um livro ou um artigo na íntegra, esses modelos não copiam nem guardam textos como uma memória exata. Eles são treinados em vastos conjuntos de textos que são tokenizados. Portanto, o que eles aprendem não é o texto em si, e sim padrões estatísticos da linguagem, transformando o texto em representações matemáticas, especificamente em vetores. A tokenização é o processo de transformar palavras em unidades menores chamadas tokens, que são a expressão de um conteúdo em unidades menores (que podem ser palavras, partes de palavras ou até caracteres individuais). Vetorialização é a transformação de tokens em vetores numéricos que representam sua relação com outros termos. Quando um modelo é treinado, ele converte palavras, frases e ideias em números organizados para identificar relações semânticas. Isso significa que palavras parecidas como "arma" e "guerra" terão representações vetoriais próximas em um espaço matemático. Essas representações permitem que o modelo preveja qual palavra vem a seguir em uma frase, sem precisar recuperar um texto exato do treinamento.

Essas regularidades estatísticas dependerão, portanto, das bases de dados com as quais o modelo foi treinado, e essa geração de texto ou imagem, ao produzir algo que parece inédito, o faz a partir dos dados que a(s) empresa(s) vinculadas à IA tem acesso. O que significa que a variedade e qualidade dos dados vão, no fim, determinar a precisão e a qualidade estatística das respostas dadas pela linguagem que usa o conhecimento produzido pela inteligência humana.

Uma pesquisa de 2025 (Verma, 2025) evidencia que os principais domínios usados pelas IAs mais famosas, como as ferramentas da Google e o ChatGPT, para obter dados são Reddit, Wikipedia, YouTube, Google, Yelp, Facebook, Amazon e Tripadvisor, sendo que 60% das informações são dos três primeiros domínios. Isso deve, no mínimo, levantar o debate sobre a confiabilidade das fontes de onde tais dados são retirados. Podemos observar que, das três citadas, duas delas são redes sociais: Reddit, sendo um fórum de discussão internacional sobre assuntos variados, e YouTube, como uma rede social composta majoritariamente por vídeos enviados pelos seus usuários.

Assim, além de estarmos obtendo informações de fontes com confiabilidade duvidosa, seguimos trabalhando com modelos de IA de empresas que mineram dados de modo nada transparente. Estamos falando, portanto, de um problema de

confiabilidade que não está apenas na resposta, mas no modo de obtenção dos dados para a elaboração dessa resposta.

Outro aspecto urgente sobre a IA que precisamos debater numa perspectiva materialista é que esse processo de extração quase clandestino de dados não é apenas no software. As IAs só funcionam numa base material concreta, ou seja, não há software sem hardware. A IA é

[...] vista como megamáquina é integrada de computadores, servidores, roteadores, switches, firewalls, balanceadores de carga para gerenciar o tráfego de dados discos rígidos (HDDs), unidades de estado sólido (SSDs) e sistemas de armazenamento em rede (NAS/SAN), geradores, fontes de alimentação ininterrupta UPS), unidades de distribuição de energia (PDUS), ar-condicionado de precisão, sistemas de resfriamento com água, cabeamento estruturado, fibras ópticas etc. (Silveira, 2025, p. 69)

Quando nos sentamos na frente do computador e fazemos uma pergunta simples para a IA, estamos diante de uma megaestrutura material que precisa de energia, metais, água e mão de obra qualificada para existir. Deste modo, parece-nos impossível pensar sobre IA sem pensar: onde estes data centers estão instalados? Quanto de gasto de água é necessário para fazê-los funcionar? De onde e como é extraída a matéria-prima que é usada para fazer esses centros funcionarem? Como países e regiões estão sendo afetadas com a instalação desses data centers?

As respostas a essas perguntas são complexas, precisam de mais estudos e dependem de cada região, mas já sabemos que os gastos de água e energia para manter uma estrutura dessa funcionando são altíssimos. Em Querétaro, no México, nas áreas onde as instalações de data centers operam, já é necessário racionar água, e algumas famílias já recebem o serviço a cada três dias (Zuazo, 2025). A empresa de IA de Elon Musk instalou e colocou para funcionar, em 2024, um dos maiores data centers do mundo, localizado em Memphis, EUA, chamado de Colossus. Utilizando combustíveis fósseis como fonte de energia, moradores e ativistas ambientais apontam que a megaestrutura se tornou uma das maiores poluidoras do ar da região. Destaca-se, ainda, que as áreas próximas aos data centers são habitadas majoritariamente por pessoas negras, evidenciando a dimensão racista dos danos gerados pelo modo de produção capitalista (Kolodny, 2024).

No entanto, quando tratamos do uso da IA dentro da sociedade, no geral, perdemos de vista essas discussões. Em um mundo em que cada vez mais as IA estão aparecendo nos nossos dispositivos, como computadores, celulares, relógios e até

eletrodomésticos, o debate social acaba se limitando às funções desses recursos no nosso cotidiano e ao potencial prejuízo que elas podem causar pela substituição de funcionalidades essencialmente humanas.

No que tange à educação, quando falamos da IA em sala de aula, muitas vezes focamos nos benefícios que esses recursos podem trazer para professores e alunos, sob a justificativa de que estamos em uma sociedade tecnológica e que ela altera o contexto educacional. O trabalho de Cardoso et al. (2023, p. 3) vai justamente comentar que “a projeção que se tem para o Futuro da Educação aborda a inclusão dos nativos digitais (estudantes) que estão imersos na tecnologia, dentre elas, a IA, e essa abordagem irá impactar o modelo educacional”. Assim, trabalhos como o de Cardoso et al. (2023), Gomes et al. (2023) e Junqueira (2025) vão tratar das contribuições que a inteligência artificial traz para a educação. Nesses textos, os autores apresentam que algumas das vantagens da IA na educação se referem à flexibilização das metodologias de ensino e das informações que chegam aos alunos, à possibilidade de que os professores tenham contato com novos saberes, ao apoio à criação de materiais didáticos e às formas como os estudantes vêm utilizando esses recursos para auxiliar em sua aprendizagem, seja na resolução de problemas ou na busca de novas informações.

Ainda no trabalho de Junqueira (2025), os alunos apontam o que é colocado como “visão crítica” do uso da IA, na qual eles afirmam que é preciso alguns cuidados com o uso dessa ferramenta, como questionar as informações e analisar se as fontes são reais e confiáveis. Essa preocupação com uma visão crítica aparece em todos os trabalhos supracitados. Gomes et al. (2023) defendem que a IA e a tecnologia não devem substituir o professor e que o seu uso deve ser cuidadoso, enquanto Cardoso et al. (2023) apontam que o estudante precisa ter uma visão crítica no uso da IA para exercer um protagonismo e, para isso, o professor precisa estimulá-lo.

O ensino de química segue a mesma linha. O trabalho de Leite (2024) vai apontar que a IA pode auxiliar os estudantes a entenderem fórmulas complexas e conceitos, além de ajudar professores na elaboração de planos de aula, por exemplo. Ainda nesse trabalho, o autor, ao analisar planos de aula de ensino de química produzidos pelo ChatGPT, destaca a possibilidade de uso da ferramenta. No entanto, ele

detectou problemas na resposta da IA e ponderou a necessidade de um uso com visão crítica dessa tecnologia para evitar uma dependência cega.

Claro que esse debate é de extrema importância, mas, conforme discutido anteriormente, existem aspectos sociais e políticos da materialidade das condições de aplicação da IA que muitas vezes acabam sendo deixados de lado.

Portanto, em linhas gerais, parece-nos que não dá para falar de uso crítico da inteligência artificial sem falar do que estamos criticando. No cenário que aqui descrevemos, precisamos pensar que falar de IA é falar do mundo em que essa tecnologia se encontra e de quem ela está sendo colocada a serviço. Sem isso, a crítica ganha um caráter vazio e quase procedimental. Mas e o ensino de química? O que um professor de química pode fazer frente à IA? É isso que debateremos no próximo tópico.

Inteligência artificial no ensino de química: é preciso ir além do fetiche da tecnologia

Entendemos que qualquer debate sobre tecnologias digitais no ensino de química precisa enfrentar o caráter fetichista que o mundo digital assume nestes tempos. A palavra fetiche, usada por Marx (2013) para pensar as mercadorias, deriva de “feitiço” e serve para designar a ideia de que algo inanimado, como que por mágica, move-se como se estivesse vivo. Nas palavras do próprio Marx (2013, pp. 147-148):

É apenas uma relação social determinada entre os próprios homens que aqui assume, para eles, a forma fantasmagórica de uma relação entre coisas. Desse modo, para encontrarmos uma analogia, temos de nos refugiar na região nebulosa do mundo religioso. Aqui, os produtos do cérebro humano parecem dotados de vida própria, como figuras independentes que travam relação umas com as outras e com os homens. Assim se apresentam, no mundo das mercadorias, os produtos da mão humana. A isso eu chamo de fetichismo, que se cola aos produtos do trabalho tão logo eles são produzidos como mercadorias e que, por isso, é inseparável da produção de mercadorias.

A metáfora do feitiço indica que, na sociedade capitalista, em que a maioria não participa nem controla o processo produtivo, as criações humanas passam a ser vistas como se tivessem vida própria, ocultando o trabalho humano que as produziu. Os objetos parecem ganhar qualidades e autonomia. Embora Marx não tenha conhecido a inteligência artificial, a noção de fetiche ajuda a compreender o presente, em que máquinas criadas por pessoas são tratadas como seres autônomos. A IA pode ser vista

como um Pinóquio que ganhou vida: esquecemos seu Gepeto e passamos a esperar que o boneco, agora “menino”, nos dê todas as respostas.

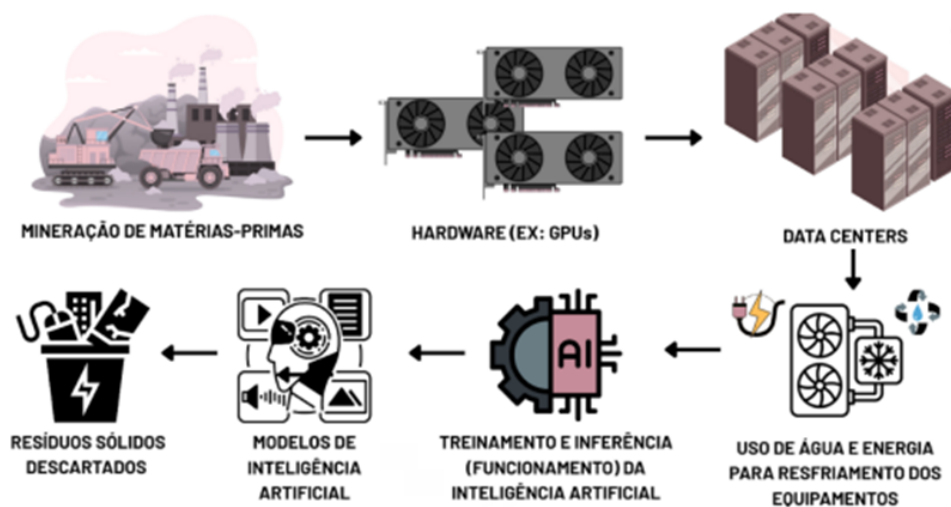
Nesse sentido, o primeiro desafio no ensino de química é desfazer o feitiço. A IA não pode ser compreendida como uma ferramenta mágica, um oráculo ou uma esfinge, cujo enigma se resolve com o prompt adequado. Seu uso formativo e didático só é possível quando se revela o conteúdo humano que a constitui, indo além da simples checagem de fontes ou da avaliação das respostas. Trata-se de reconhecer o trabalho humano incorporado que permite que a resposta organizada apareça na tela.

Humanizar as tecnologias é o primeiro e decisivo passo na formação do indivíduo. Mas o que isso significa na prática? Trata-se apenas de repetir que a IA é feita de trabalho humano? Certamente não, e é justamente a partir dessa pergunta que podemos avançar. O trabalho do(a) professor(a) de Química e do(a) pesquisador(a) do ensino de química que tenham como objetivo caminhar no processo de desfetichização da IA precisa focar, de partida, na sua base material e no seu sistema de produção. Como professores de Química, entender os mecanismos de produção dos materiais e as questões ambientais que fazem a IA funcionar neste mundo nos parece ser um caminho promissor para desfazer essa imagem mágica dessa tecnologia digital.

O caminho que nos parece promissor para seguirmos o rastro do processo produtivo da IA e pensar no ensino de química está na Figura 1, abaixo, produzida pelo Laboratório de Políticas Públicas e Internet (LAPIN, 2025).

Figura 1

Modelo para pensar o processo produtivo de IA



Se pensarmos do ponto de vista do ensino de química, entendemos que o processo de mineração de matérias-primas é o primeiro aspecto necessário para tratarmos da IA. Como nos lembram Faustino e Lippold (2023), se não há software sem hardware, não há hardware sem ouro, lítio, cobalto, terras-raras e tantos outros materiais que têm, em sua composição, elementos químicos apresentados nas aulas de Química. Longe de ser um processo trivial, essa mineração segue acontecendo pautada em condições difíceis para os trabalhadores e em um processo de colonização de países africanos e de terras indígenas. Apenas para ilustrar, a maior parte do cobalto usado nos artefatos digitais é minerada na República Democrática do Congo, onde a maior parte das minas opera em condições desumanas para os trabalhadores, com acidentes constantes. Soares (2024, p. 55) detalha essas condições:

As mineradoras despejam os resíduos nos rios da região [...]. Há casos frequentes de má formação fetal, anencefalia e mortes prematuras de bebês causados pela contaminação não só pelo cobalto, mas também pelo níquel e cobre. Os trabalhadores são expostos aos póis e resíduos das minas nas extrações pois a maioria trabalha sem nenhum equipamento de proteção. Além disso, há vários casos relatados de trabalho infantil nestas minas.

No que tange às terras-raras, o processo de mineração também está longe de ser isento de contradições. Essas substâncias, compostas pelos 15 lantanídeos, pelo escândio e pelo ítrio, e quase nunca aprofundados nas aulas de Química, são essenciais para a produção de superímãs, supercondutores e chips de alta performance, sendo abundantes na China e no Brasil. Empresas dos EUA já demonstram interesse em explorar 41 áreas protegidas na Amazônia Legal, envolvendo território indígena e quilombola (Harari, 2025).

Com apenas alguns exemplos, podemos pensar que professores de Química devem encontrar os rastros da produção de cada elemento químico envolvido neste processo de produção dos hardwares que farão a IA funcionar, dando concretude ao processo formativo. A IA não é um conteúdo a mais no ensino de química. O processo de mineração e suas implicações na instalação/fabricação de hardwares da IA fazem parte daquilo que Messeder Neto (2022) chamou de química concreta, real, dinâmica e cheia de sentido.

Se a mineração é um elemento importante no caminho da desfetichização para o professor de Química, entendemos que o debate sobre o consumo de energia e água

para a instalação dos dados do hardware e dos data centers também o é. O debate sobre a educação ambiental é evocado e necessário no ensino de química e ganha um caráter crucial quando falamos de IA. No entanto, não devemos apenas falar dos gastos de água e de energia que cada pergunta que o usuário faz ao ChatGPT³ consome, como se o problema estivesse no usuário e não no processo de resfriamento dos data centers. Embora entendamos que essa seja uma informação relevante e que pode assustar as pessoas, parece-nos que ela obscurece os gastos astronômicos de energia para fazer um data center funcionar e a enorme quantidade de água doce usada para resfriar essas infraestruturas. Vejamos em números o que a LAPIN (2025, p. 9) nos mostra:

[...] projeções da Universidade da Califórnia, Riverside, indicam que o consumo de *água* associado à IA pode alcançar entre 4,2 e 6,6 bilhões de metros cúbicos até 2027, o que corresponderia ao consumo anual de água de 4 a 6 países como a Dinamarca. Já um estudo anterior, de 2023, indicou que, desconsiderando o consumo de água de data centers de colocação de terceiros, os data centers de propriedade da Google consumiram e evaporaram, sem reaproveitamento, cerca de 24 bilhões de litros de água doce para resfriamento.

No caso do consumo energético, a situação não é melhor. O consumo total de eletricidade de data centers em 2026 poderá ultrapassar 1.000 TWh, correspondendo ao consumo de eletricidade anual do Japão (LAPIN, 2025).

Assim, parece-nos que nenhuma discussão ambiental crítica sobre IA, em tempos de crise climática, pode passar ao largo desse gasto de energia e de água, principalmente no que tange às seguintes perguntas: de onde vem essa energia? De quais fontes? E quais os impactos associados a essas fontes?

As respostas não seguem sendo animadoras. Para além do caso de Memphis, que citamos em outra parte do texto, no qual se utilizam combustíveis fósseis para obtenção de energia, no Brasil temos visto situações que são vendidas como sustentáveis, como é o caso de Sergipe, onde data centers são alimentados por energia solar e eólica. Mas, como essas são fontes de energia intermitentes, o gás natural, uma fonte não renovável, é usado como fonte complementar. No entanto, mesmo ao falarmos das chamadas fontes de energia renováveis, não significa que devamos

³ Segundo um artigo publicado pela Universidade Federal de Santa Maria, o gasto médio de água é de 500mL a cada 20 a 50 interações do usuário. O artigo pode ser consultado em: Moro, P. (2025, 4 Setembro). Como o uso de inteligências artificiais consome água? *UFSM*. <https://www.ufsm.br/2025/09/04/como-o-uso-de-inteligencias-artificiais-consome-agua>.

esquecer que seu processo de implementação não acontece sem danos ao ecossistema e à população local. Por exemplo, já é farta a literatura (Lima, 2022; Maia et al., 2024; Traldi, 2019) que nos mostra que, na implementação de parques eólicos no Nordeste, tem acontecido expropriação de terras de povos originários e restrição de acesso a áreas de uso comum.

Aqui, mais uma vez, estamos diante de uma temática que não é acidental no ensino de química. Pensar na questão ambiental para além de uma perspectiva centrada no consumo é essencial para caminharmos para uma visão desfetichizada da IA. Entender o impacto ambiental que a entrada de um data center causa e o uso de recursos para sua manutenção é imprescindível para o professor de Química que olhará para a IA não apenas como uma ferramenta didática, mas como conteúdo concreto das suas aulas e como elemento formativo para pensar o mundo em que vivemos.

Seguindo o caminho do rastro produtivo da IA mostrado na Figura 1, passamos agora para o entendimento do funcionamento dela pelos usuários. Aqui entendemos que esse é o aspecto sobre o qual a área de Ensino de Química mais tem se debruçado. Como já destacamos, há trabalhos que tratam de como usar os prompts para o ensino de química, além de levantar questionamentos sobre como a ferramenta vem sendo usada de forma leviana por parte dos usuários.

Ratificamos que essas preocupações são de suma importância dentro da nossa área e entendemos que elas são legítimas, mas, sozinhas, são insuficientes. Apenas como destaque para essa parte do processo que envolve o uso e o treinamento da IA, reforçamos que é preciso que os(as) professores(as) se apropriem dos conceitos científicos da área de modo robusto para o uso dessa tecnologia, a fim de entenderem a forma como eles aparecem nas respostas e identificar possíveis problemas para o ensino. Leite (2023) faz uma análise de alguns conceitos presentes em respostas do ChatGPT. Ele conclui que, por mais que algumas respostas sejam coerentes, é preciso cuidado com as definições que aparecem no uso desses recursos. Assim, é preciso que a formação de professores não deixe de lado o domínio aprofundado de conceitos fundamentais da química. No ensino de química, portanto, um dos caminhos pertinentes é fazer discussões conceituais com as inteligências artificiais, de maneira a questionar a informação que aparece ali.

Além da análise das respostas, destacamos que é válido, na abordagem da IA no ensino de química, pensar nos prompts, ou comandos, que vamos dar para as inteligências artificiais. Em seu trabalho, Santos (2025) discute sobre a criação de materiais didáticos, baseados em aspectos nutricionais, para professores de Química. Em sua pesquisa, ele trata da necessidade de se entender a base de dados da IA e buscar como usar os comandos para que se tenham respostas mais coerentes com a realidade social e se minimizem determinados problemas acerca de estereótipos impostos pela sociedade.

O trabalho de Santos (2025) nos ajuda a pensar que entender o uso da IA é entender o movimento operacional que está por trás dela. Não basta apenas saber a melhor forma de enviar o comando, mas precisamos entender as visões de mundo subjacentes àquelas respostas.

As respostas são formadas por um banco de dados criado por indivíduos dentro da sociedade capitalista; o próprio algoritmo é criado a partir de interesses da classe dominante, na figura das Big Techs. Nesse sentido, a própria IA age de acordo com os interesses desses indivíduos, por mais que se discuta uma “autonomia” algorítmica depois que ela é criada. Araújo e Araújo (2024) vão justamente discutir aspectos do racismo algorítmico, em que eles apontam as microagressões que surgem a partir dessas ferramentas que se materializam na forma como as imagens da sociedade aparecem nos resultados das produções feitas pelas inteligências artificiais. Nesse sentido, tanto a forma de ação dos algoritmos quanto a forma como eles são treinados e a base de dados que utilizam não podem ser deixadas de lado nos debates da nossa área. A consciência para a compreensão de respostas enviesadas ideologicamente é essencial para ir além do uso fetichista da IA.

Racismo e questões de gênero são exemplos de problemas sociais presentes de uma forma específica na sociedade capitalista e que, invariavelmente, vão afetar os resultados que aparecem na IA. O apagamento das mulheres nas ciências e o eurocentrismo são questões que já vêm sendo debatidas na área de Ensino, História e Filosofia das Ciências e da Química. Essas questões precisam aparecer para os professores de Química a partir das inteligências artificiais, uma vez que a base de dados hegemônica desses recursos carrega esse tipo de problemática, assim como outros materiais escritos, como livros didáticos.

Chegando ao final do fluxo produtivo, temos a produção do lixo eletrônico por conta do aumento do consumo das tecnologias digitais. A partir do rápido avanço das inteligências artificiais, estima-se um aumento significativo na produção de lixo eletrônico no nosso planeta⁴. Esse aumento se dá por conta da grande necessidade de troca de hardwares nos grandes data centers, que vão avançando em alta velocidade, necessitando de equipamentos cada vez mais robustos, deixando os antigos obsoletos. No entanto, no fim da cadeia produtiva, precisamos nos questionar: para onde vão os equipamentos que não são mais utilizados?

Como no conjunto do modo de produção capitalista, o avanço da IA intensifica problemas ambientais. O descarte de hardwares de data centers gera grandes volumes de materiais, como plástico e metais tóxicos, e essa é uma questão que deve atravessar o ensino de química. Esse cenário permite uma abordagem química crítica sobre o lixo eletrônico, articulada a um debate social, já que o descarte desses resíduos ocorre, em geral, em territórios socialmente vulneráveis, afetando diretamente a saúde das populações locais.

O problema ambiental no ensino de química deve ser colocado dentro do contexto social em que vivemos, sem que fiquemos reproduzindo discursos conservadores que afirmam que as questões ambientais são causadas apenas pelos consumidores finais, isentando as grandes corporações das suas responsabilidades.

Assim, o que queremos aqui é apontar caminhos para trabalhar com as IAs e a Química, seja pela formação de professores, seja para lecionar conteúdos, de forma desfetichizada. Portanto, entendemos que a visão crítica da IA não deve se limitar a analisar as respostas e procurar se as fontes delas são confiáveis. Não deve ser apenas ter consciência de que ela não pode fazer o trabalho do professor, preparando aulas ou criando materiais didáticos. A visão crítica da IA que defendemos se refere a isso, mas também indo além. Ela visa entender o impacto e o movimento dessa tecnologia na nossa sociedade, observando a base humana e material que está por trás dela, carregada de intencionalidades. Assim, acreditamos que o entendimento do fluxo

⁴ Galileu (2024, 4 Novembro). Alta do uso de IA pode aumentar (muito) produção de lixo eletrônico até 2030. *Galileu*.
<https://revistagalileu.globo.com/um-so-planeta/noticia/2024/11/alta-do-uso-de-ia-pode-aumentar-muito-producao-de-lixo-eletronico-ate-2030.ghtml>

produtivo das inteligências artificiais contribui para o debate dos conceitos químicos, mas também para as discussões sociais inerentes às tecnologias digitais.

Considerações finais: Devemos ser contra a IA?

Diante das problemáticas apresentadas, o leitor pode supor que adotamos uma posição contrária à inteligência artificial, como se desfetichizá-la implicasse eliminá-la. Tal leitura seria ingênua e antimaterialista, pois desconsidera os potenciais do desenvolvimento tecnológico para ampliar as forças produtivas, reduzir o tempo de trabalho e possibilitar mais tempo livre para a criação humana. Contudo, no modo de produção capitalista, essas tecnologias têm sido apropriadas para intensificar a exploração, prolongar o trabalho e produzir adoecimento e precarização.

Eis o motivo pelo qual concordamos interinamente com Faustino e Lippold (2023, p. 186), que afirmam:

A tarefa colocada não é a de demonizar ou endeusar as redes e plataformas, mas explicitar seu caráter social e historicamente determinado. Isso implica dizer que o problema não é o aprendizado de máquinas ou a chamada inteligência artificial, em si, mas os sentidos pelos quais são projetados e, sobretudo, os usos que lhes atribuímos.

Isso significa que, para disputar esses usos e sentidos, é fundamental que os sujeitos conheçam as origens, os interesses e as bases sobre as quais as IAs são construídas. A educação e o ensino de química serão fundamentais para isso, mas só conseguirão cumprir sua tarefa se entenderem que o debate sobre IA é maior do que os alunos usando tecnologia para fazer atividades de casa e responder listas de exercícios de nomenclatura de química orgânica.

Isso não diminui ou resolve os nossos problemas de sala de aula e, é claro, pesquisas que tratam da escolha de prompts e confrontam conceitos são importantes, mas o ensino de química não pode ficar restrito a isso, ficando à mercê de cada nova produção tecnológica. Isso significa, do ponto de vista prático, trabalhar com IA nas suas aulas e nas pesquisas com consciência, transformá-la em algo mais concreto, evidenciando o que ela é, onde ela existe materialmente, de quais materiais ela é feita e com quantas mãos negras e latino-americanas ela é construída. Tendo isso em mente, será possível pensar em sequências didáticas mais críticas, elaborar materiais críticos, debater com os alunos sobre a temática e tantas outras possibilidades que dependerão de cada professor(a) e pesquisador(a) da área em seus contextos específicos.

Para além dessas possibilidades, impõe-se, para qualquer pessoa que queira pensar a IA e seus usos, a tarefa política de conhecer as alternativas tecnológicas de código aberto, os softwares livres, os movimentos que lutam pela soberania digital e de se engajar na tarefa de combater propostas que visam à transferência de dados públicos para as Big Techs. Isso demanda organização em movimentos sociais, partidos, sindicatos etc.

Óbvio que seria ingenuidade nossa achar que conseguiremos desfetichizar essas tecnologias por completo. Enquanto nosso modo de produção for regido pelo capital, o que temos é sempre a possibilidade de enfrentamento do fetiche, mas jamais sua eliminação por completo.

Fanon (2022), em seu livro *Os Condenados da Terra*, alerta-nos que cada geração, dentro de uma relativa opacidade, tem que descobrir sua missão, cumpri-la ou traí-la. Diante da inteligência artificial, teremos uma missão, entre várias, clara para a nossa e para a geração vindoura: enfrentar esse processo de sermos sucateados e, ao mesmo tempo, ficarmos encantados pelas tecnologias digitais. O tempo de cumprir essa missão de desfetichizar esse processo é agora. Que consigamos não trair esse propósito.

Referências

- Antunes, R. (2020). Trabalho intermitente e uberização do trabalho no limiar da indústria 4.0. In R. Antunes (Org.), *Uberização, trabalho digital e indústria 4.0* (pp. 16–34). Boitempo.
- Araújo, J., & Araújo, J. (2024). Racismo algorítmico e inteligência artificial: Uma análise crítica multimodal. *Revista Linguagem em Foco*, 16(2), 89–109.
<https://doi.org/10.46230/lef.v16i2.13108>
- Barbosa, A. (2023, 9 Janeiro). Escolas de Nova York proíbem o uso do ChatGPT. *Forbes Brasil*.
<https://forbes.com.br/forbes-tech/2023/01/escolas-de-nova-york-proibem-o-uso-do-chatgpt/>
- Barroso, L. R., & Mello, P. P. C. (2024). Inteligência artificial: promessas, riscos e regulação. Algo de novo debaixo do sol. *Revista Direito e Práxis*, 15(4), 1–45.
<https://doi.org/10.1590/2179-8966/2024/84479>
- Boratto, M. (2023). Inteligência Artificial: breve histórico, conceitos e reflexões. In L. Alves (Org.), *Inteligência artificial e educação: refletindo sobre os desafios contemporâneos* (pp. 21–31). Edufba.
- Cardoso, F. S., Pereira, N. S., Braggion, R. C., Chaves, P. E. M. C., & Andrioli, M. G. (2023). O uso da inteligência artificial na educação e seus benefícios: Uma revisão

- exploratória e bibliográfica. *Revista Ciência em Evidência*, 4(FC), e023002.
<https://doi.org/10.47734/rce.v4iFC.2332>
- Castells, M. (2007). *A sociedade em rede* (10ª ed.). Paz e Terra.
- Faustino, D. M., & Lippold, W. (2023). *Colonialismo digital: Por uma crítica hacker-fanoniana*. Boitempo.
- Fanon, F. (2022). *Os condenados da Terra*. Zahar.
- Giordan, M. (1998). Educação em química e multimídia. *Química Nova na Escola*, (6), 6–7. <https://cabecadepapel.com/sites/colecaoaiq2011/QNEsc06/eqm.pdf>
- Gomes, F. F. B., Fernandes, A. B., Rios, F. S., Silva, M. V. M., & Bohrer, M. T. P. (2023). Contribuições da inteligência artificial no contexto educativo. *Revista Ilustração*, 4(2), 37–46. <https://doi.org/10.46550/ilustracao.v4i2.152>
- Harari, I. (2025, 6 Agosto). Mineradora quer explorar terras raras dentro de quilombo no Tocantins. *Repórter Brasil*.
<https://reporterbrasil.org.br/2025/08/terras-raras-quilombo-kalunga-mimoso-brasmet/>
- Junqueira, E. (2025). Inteligência artificial generativa e estudantes universitários no contexto dos multiletramentos. *Revista Docência e Ciberultura*, 9(1), 1–17.
<https://doi.org/10.12957/redoc.2025.81548>
- Kolodny, L. (2024, 28 Agosto). Elon Musk's xAI accused of worsening Memphis smog with unauthorized gas turbines at data center. *CNBC*.
<https://www.cnn.com/2024/08/28/musk-xai-accused-of-worsening-memphis-smog-with-unauthorized-turbines.html>
- Laboratório de Políticas Públicas e Internet. (2025). *Inteligência Artificial e Data Centers: a expansão corporativa em tensão com a justiça socioambiental*. LAPIN.
<https://lapin.org.br/wp-content/uploads/2025/08/INTELIGENCIA-ARTIFICIAL-E-DATA-CENTERS-A-EXPANSAO-CORPORATIVA-EM-TENSAO-COM-A-JUSTICA-SOCIOAMBIENTAL-1-3.pdf>
- Leite, B. S. (2021). Pesquisas sobre as tecnologias digitais no ensino de química. *Debates em Educação*, 13, 244–269.
<https://doi.org/10.28998/2175-6600.2021v13nEsp2p244-269>
- 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>
- Leite, B. S. (2024). Análise da inteligência artificial ChatGPT na proposição de planos de aulas para o ensino da química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 23(3), 473–497.
https://reec.uvigo.es/volumenes/volumen23/REEC_23_03_07_ex2207_1077.pdf
- Leite, J. C., & Coletivo 660. (2023). Prólogo. In C. L. C. Penteado, J. Pellegrini, & S. A. Silveira (Orgs.), *Plataformização, inteligência artificial e soberania de dados: Tecnologia no Brasil 2020–2030* (pp. 15–20). Ação Educativa.
https://acaoeducativa.org.br/wp-content/uploads/2024/01/tecnologia_no_brasil_2020_2030.pdf
-

- Lemos, A., & Lévy, P. (2010). *O futuro da internet: Em direção a uma ciberdemocracia planetária*. Paulus.
- Lévy, P. (2010). *Cibercultura* (2ª ed.). Editora 34.
- Lima, J. A. G. (2022). *A natureza contraditória da geração de energia eólica no Nordeste do Brasil*. EdUECE.
- Maia, F. J., Batista, M. P., Silva, T. A., & Rodriguez, D. C. (2024). O arrendamento de terras para produção de energia eólica: Um novo capítulo da questão agrária brasileira. *Revista Direito GV*, 20, 1–31.
<https://doi.org/10.1590/2317-6172202413>
- Marx, K. (2013). *O capital: Crítica da economia política* (Livro I). Boitempo.
- Messeder Neto, H. S. (2022). O ensino da química na pedagogia histórico-crítica: Considerações sobre conteúdo e forma para pensarmos o trabalho pedagógico concreto. *Investigações em Ensino de Ciências*, 27(2), 271–293.
<https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n2p271>
- OpenAI. (2025). *ChatGPT* (versão GPT-5o) [Software]. <https://chat.openai.com>
- Pauletti, F., Mendes, M., Rosa, M. P. A., & Catelli, F. (2017). Ensino de química mediado por tecnologias digitais: O que pensam os professores brasileiros? *Revista Interações*, 13(44), 144–167. <https://doi.org/10.25755/int.9820>
- Peixoto, J., & Araújo, C. H. D. S. (2012). Tecnologia e educação: Algumas considerações sobre o discurso pedagógico contemporâneo. *Educação & Sociedade*, 33(118), 253–268. <https://doi.org/10.1590/S0101-73302012000100016>
- Penteado, C. L. C., Pellegrini, J., & Silveira, S. A. (Orgs.). (2023). *Plataformização, inteligência artificial e soberania de dados: Tecnologia no Brasil 2020–2030*. Ação Educativa.
https://acaoeducativa.org.br/wp-content/uploads/2024/01/tecnologia_no_brasil_2020_2030.pdf
- Santos, S. G. N. F. (2025). *Este trabalho foi feito com o ChatGPT? Uma proposta do uso da IA ChatGPT para criação de um material didático para professores de química* [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal da Bahia].
- Silveira, S. A. (2025). *As big techs e a guerra total: O complexo militar-industrial-datafocado*. Hedra.
- Soares, L. F., & Silva, M. G. V. (2024). Inteligência artificial no ensino de química: Uma revisão integrativa. *Revista Interagir*, (125), 48–50.
<https://doi.org/10.12662/1809-5771ri.125.4970.p48-50.2024>
- Soares, M. H. F. B. (2024). Do espírito kobold ao elemento cobalto: Caminhos materiais e imateriais. In M. H. F. B. Soares & N. A. S. Mesquita (Orgs.), *Elementar, meus caros e minhas caras...: Os elementos químicos em (de) diversos olhares* (pp. 51–60). LF Editorial.
- Traldi, M. (2019). *Acumulação por despossessão: A privatização dos ventos para a produção de energia eólica no semiárido brasileiro* [Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas]. Repositório da Produção Científica e Intelectual da Unicamp. <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2019.1093474>
-

Veraszto, E. V., Silva, D., Miranda, N. A., & Simon, F. O. (2009). Tecnologia: Buscando uma definição para o conceito. *Prisma*, 1(8), 19–46.

<https://ojs.letras.up.pt/index.php/prismacom/article/view/2065>

Verma, S. (2025, 19 Agosto). Where AI gets its information: What we should know about AI's knowledge sources. *The Friendly CHRO*.

<https://friendlychro.com/2025/08/19/where-ai-gets-its-information-2025/>

Zuazo, N. (2025, 17 Outubro). Inteligencia artificial y extractivismo digital: ¿Quién gana con los data centers en América Latina? *El País*.

<https://elpais.com/america/2025-10-17/inteligencia-artificial-y-extractivismo-digital-quien-gana-con-los-data-centers-en-america-latina.html>

Submetido em: 31/01/2026

Aceito em: 16/06/2026

Publicado em: 25/09/2026

Periódico organizado pela Sociedade Brasileira de Ensino de Química – SBEnQ



Este texto é licenciado pela [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).