

## LABORATÓRIOS VIRTUAIS E REMOTOS NO ENSINO DE QUÍMICA EM EAD: DESAFIOS, ESTRATÉGIAS E TENDÊNCIAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

VIRTUAL AND REMOTE LABORATORIES IN CHEMISTRY TEACHING IN DISTANCE  
LEARNING: CHALLENGES, STRATEGIES AND TRENDS: A SYSTEMATIC LITERATURE  
REVIEW

LABORATORIOS VIRTUALES Y REMOTOS EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA A  
DISTANCIA: RETOS, ESTRATEGIAS Y TENDENCIAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA  
DE LA LITERATURA

Rozenne Kerley Costa Freitas<sup>1</sup>

Thiago de Jesus Corrêa<sup>2</sup>

Matheus Filipe Leitão Oliveira<sup>3</sup>

Adriana Silva Caldas<sup>4</sup>

Luiz Carlos Rocha Junior<sup>5</sup>

Arlan Silva Freitas<sup>6</sup>

2300

**RESUMO:** Esse artigo buscou analisar, por meio de uma revisão sistemática da literatura conduzida segundo o protocolo PRISMA, os desafios, estratégias e tendências relacionadas à implementação de laboratórios virtuais e remotos no ensino de Química. Os experimentos laboratoriais sempre foram um pilar central nessa área, mas a expansão da Educação a Distância (EaD), intensificada por fatores globais como a pandemia de COVID-19 e conflitos armados, acelerou a adoção dessas ferramentas digitais. As evidências indicam que tais recursos favorecem a democratização do acesso, a redução de custos, a segurança experimental e a promoção da autonomia discente. Entretanto, permanecem limitações significativas, como a ausência de vivências sensoriais e manuais, as desigualdades socioeconômicas e as deficiências de infraestrutura tecnológica. Os estudos ainda apontam que metodologias ativas, gamificação e a integração de atividades síncronas e assíncronas fortalecem o engajamento e a aprendizagem significativa. Laboratórios remotos e *take-home labs* mostraram-se eficazes em contextos emergenciais, enquanto perspectivas futuras destacam o potencial da inteligência artificial, da realidade aumentada e de modelos híbridos. Conclui-se que a consolidação desses ambientes requer investimentos contínuos em infraestrutura digital, formação docente e políticas de equidade, de modo a consolidá-los como ferramentas inclusivas e permanentes no ensino de Química.

**Palavras-chave:** Metodologias inovadoras. Tecnologias educacionais. Ambientes de aprendizagem.

<sup>1</sup>Especialista em Gestão, Orientação e Supervisão Escolar - Universidade Federal do Maranhão, UFMA.

<sup>2</sup>Graduando em Licenciatura em Química – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus São Luís – Monte Castelo.

<sup>3</sup>Mestre em Química – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus São Luís – Monte Castelo.

<sup>4</sup>Mestre em Engenharia de Alimentos – Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus São Luís – Monte Castelo.

<sup>5</sup>Mestre em Química – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus São Luís – Monte Castelo.

<sup>6</sup>Doutor em Ciência – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus São Luís – Monte Castelo.

**ABSTRACT:** This article aims to analyze, through a systematic literature review conducted according to the PRISMA protocol, the challenges, strategies, and trends related to the implementation of virtual and remote laboratories in Chemistry teaching. Laboratory experiments have always been a central pillar in this field, but the expansion of Distance Education (DE), intensified by global factors such as the COVID-19 pandemic and armed conflicts, has accelerated the adoption of these digital tools. Evidence indicates that such resources favor democratized access, cost reduction, experimental safety, and the promotion of student autonomy. However, significant limitations remain, such as the lack of sensory and hands-on experiences, socioeconomic inequalities, and deficiencies in technological infrastructure. Studies also indicate that active methodologies, gamification, and the integration of synchronous and asynchronous activities strengthen engagement and meaningful learning. Remote laboratories and take-home labs have proven effective in emergency contexts, while future prospects highlight the potential of artificial intelligence, augmented reality, and hybrid models. It is concluded that the consolidation of these environments requires continuous investments in digital infrastructure, teacher training and equity policies, in order to consolidate them as inclusive and permanent tools in Chemistry teaching.

**Keywords:** Innovative methodologies. Educational technologies. Learning environments.

**RESUMEN:** Este artículo buscó analizar, mediante una revisión sistemática de la literatura realizada según el protocolo PRISMA, los desafíos, las estrategias y las tendencias relacionadas con la implementación de laboratorios virtuales y remotos en la enseñanza de la química. Los experimentos de laboratorio siempre han sido un pilar central en este campo, pero la expansión de la educación a distancia (ED), intensificada por factores globales como la pandemia de COVID-19 y los conflictos armados, ha acelerado la adopción de estas herramientas digitales. La evidencia indica que estos recursos favorecen el acceso democratizado, la reducción de costos, la seguridad experimental y la promoción de la autonomía estudiantil. Sin embargo, persisten limitaciones significativas, como la falta de experiencias sensoriales y prácticas, las desigualdades socioeconómicas y las deficiencias en la infraestructura tecnológica. Los estudios también indican que las metodologías activas, la gamificación y la integración de actividades sincrónicas y asincrónicas fortalecen la participación y el aprendizaje significativo. Los laboratorios remotos y los laboratorios para llevar a casa han demostrado ser efectivos en contextos de emergencia, mientras que las perspectivas futuras destacan el potencial de la inteligencia artificial, la realidad aumentada y los modelos híbridos. Se concluye que la consolidación de estos entornos requiere de inversiones continuas en infraestructura digital, formación docente y políticas de equidad, con el fin de consolidarlos como herramientas inclusivas y permanentes en la enseñanza de la Química.

2301

**Palabras clave:** Metodologías inovadoras. Tecnologías educativas. Entornos de aprendizaje.

## INTRODUÇÃO

O ensino de Química sempre teve nos experimentos laboratoriais um de seus pilares, pois a prática aproxima conceitos abstratos da realidade dos estudantes. No entanto, transformações sociais e tecnológicas, intensificadas pela pandemia de COVID-19, aceleraram

a adoção de recursos digitais e ampliaram alternativas ao laboratório físico tradicional (Silva; Vasconcelos; Silva, 2022; Villalobos-González et al., 2025).

Nesse cenário, laboratórios virtuais e remotos surgem como soluções para ampliar o acesso às práticas experimentais. Simulações digitais, ambientes virtuais e até os take-home labs permitem a continuidade do ensino em diferentes contextos, estimulando autonomia discente e novas formas de mediação pedagógica (Santiago et al., 2022; Lima; Souza, 2022).

Além de superar barreiras logísticas, os recursos digitais democratizam o acesso, reduzindo custos e favorecendo instituições com infraestrutura limitada. Também permitem repetir experimentos, reduzir riscos na manipulação de substâncias e personalizar a aprendizagem (Beraldo; Oliveira; Stringhini, 2021; Villalobos-González et al., 2025).

Contudo, tais ferramentas não substituem integralmente o laboratório real, cuja vivência prática é essencial à formação profissional. Além disso, desigualdades digitais, como internet instável e falta de equipamentos, ainda limitam sua implementação (Silva; Vasconcelos; Silva, 2022; Rusyn et al., 2024).

A transição trouxe novos desafios pedagógicos, exigindo dos docentes adaptação metodológica e domínio de ferramentas digitais. Experiências mostram que, associadas a metodologias ativas e recursos audiovisuais, essas práticas podem aumentar o engajamento e a aprendizagem significativa (Zanelato; Melo Filho, 2025). 2302

A integração de tecnologias, como softwares de simulação molecular, realidade aumentada e plataformas colaborativas, torna o ensino mais interativo e dinâmico, permitindo explorar fenômenos em detalhes e ampliando a compreensão conceitual (Souza et al., 2021; Larrañeta et al., 2025).

Assim, evidencia-se a necessidade de equilíbrio: embora o laboratório físico seja insubstituível em certas competências, sua articulação com recursos digitais pode gerar experiências mais completas, em que tecnologia e pedagogia se complementam (Rusyn et al., 2024; Villalobos-González et al., 2025).

Diante desse panorama, justifica-se a importância de analisar de forma sistemática as experiências e estratégias que têm marcado o ensino experimental de Química em EaD. O presente artigo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre laboratórios virtuais e remotos, buscando identificar desafios, avanços e perspectivas que orientam o futuro dessa modalidade de ensino.

## METODOLOGIA

A presente pesquisa foi conduzida como uma revisão sistemática da literatura, fundamentada nos princípios metodológicos do protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), que estabelece critérios de transparência, rigor e reproduutibilidade no processo de identificação, seleção e análise dos estudos (Villalobos-González et al., 2025).

Inicialmente, definiu-se a questão norteadora: *quais são os principais desafios e estratégias relatados na literatura científica para a implementação de laboratórios de Química em ambientes virtuais no contexto da Educação a Distância?* Essa pergunta orientou todo o processo de busca, seleção e análise dos artigos.

A estratégia de busca foi realizada em bases de dados reconhecidas na área de educação e ciências, tais como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO e Google Scholar, utilizando combinações de descritores em português, inglês e espanhol. Entre os termos empregados destacam-se: “virtual chemistry laboratory”, “remote chemistry laboratory”, “distance learning chemistry”, “online chemistry experiment” e “laboratório virtual de Química EaD”.

Foram definidos critérios de inclusão: (i) artigos publicados em periódicos revisados por pares entre 2020 e agosto de 2025; (ii) trabalhos que abordassem o uso de laboratórios virtuais, remotos ou estratégias alternativas para o ensino experimental de Química em EaD; (iii) estudos empíricos, relatos de experiência ou revisões sistemáticas. Como critérios de exclusão, optou-se por não considerar teses, dissertações, resumos de congresso e trabalhos que tratassesem de laboratórios de outras áreas das ciências sem relação direta com a Química (Santiago et al., 2022). 2303

A etapa de seleção dos estudos seguiu as fases recomendadas pelo PRISMA: (i) identificação dos registros nas bases; (ii) triagem dos títulos e resumos; (iii) leitura integral para aplicação dos critérios de elegibilidade; e (iv) inclusão final dos artigos. Esse processo foi representado em um fluxograma adaptado, garantindo a rastreabilidade da revisão (Villalobos-González et al., 2025).

Os artigos selecionados foram submetidos a análise qualitativa e categorial, considerando três dimensões principais: (a) estratégias e recursos utilizados para o ensino experimental em EaD (laboratórios virtuais, remotos, móveis, *take-home labs*, gamificação, vídeos); (b) benefícios observados (aprendizagem significativa, motivação, acessibilidade,

segurança, flexibilidade); e (c) desafios relatados (infraestrutura, desigualdade digital, ausência do contato experimental direto, limitações pedagógicas).

Os resultados foram organizados em eixos temáticos, de forma a permitir uma discussão crítica e integrativa. Essa abordagem possibilitou identificar convergências e divergências entre os estudos, bem como apontar tendências futuras para a implementação de laboratórios de Química em ambientes virtuais, alinhando-se ao objetivo central desta revisão sistemática.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para compreender os caminhos do ensino de Química mediado por tecnologias digitais, foram selecionados artigos de relevância metodológica e diversidade de contextos. Esses estudos vão do uso de canais no YouTube para difusão de práticas laboratoriais à aplicação de laboratórios virtuais em situações de ensino remoto, seja por isolamento social ou condições adversas, como em períodos de guerra. A Tabela 1 reúne os principais trabalhos analisados, destacando objetivos, resultados e conclusões, e evidenciando suas contribuições ao debate sobre laboratórios virtuais e remotos na EaD em Química.

Tabela 1 – Artigos principais analisados na pesquisa

2304

Autores (Ano da publicação)	Título do Artigo	Resultados	Conclusão
Feijó et al. (2022)	Ambiente Virtual de Ensino em Laboratórios de Química (AQuí): Expandido o Ensino no YouTube.	As métricas do YouTube Analytics mostraram o alcance do material produzido e a satisfação dos espectadores.	O canal no YouTube cumpre sua proposta, divulgando material sobre operações laboratoriais e alcançando um público amplo.
Mojica Upmacis (2022)	Challenges Encountered and Students' Reactions to Practices Utilized in a General Chemistry Laboratory Course During the COVID-19 Pandemic.	O estudo avaliou o uso de vídeos, slides com narração e experimentos caseiros, coletando as reações dos estudantes.	O artigo discute os desafios e as reações dos estudantes a práticas utilizadas em um curso de laboratório de química geral durante a pandemia.
Santiago, Melián e Reboso (2022)	Lab at home in distance learning: A case study.	Os estudantes demonstraram motivação e altas expectativas com o trabalho prático quantitativo realizado em casa.	O trabalho prático em casa pode ser uma alternativa viável ao laboratório presencial para a aquisição de habilidades.
Iso e Shermatovich (2024)	Teaching Chemistry Based on Distance Education Technologies (Synchronous and Asynchronous Teaching Methods).	O estudo demonstrou que tanto os métodos de ensino síncronos quanto os assíncronos foram eficazes para melhorar a compreensão dos alunos sobre os conceitos de	A pesquisa concluiu que tanto os métodos síncronos quanto os assíncronos são eficazes para o ensino de química. O estudo sugere uma abordagem combinada para otimizar o aprendizado.

		química. Não houve diferença estatística no desempenho entre os dois grupos.
Rusyn et al. (2024)	Challenges And Benefits Of Using Information Technologies In Teaching Chemistry In Ukraine During Wartime.	A educação química na Ucrânia adaptou-se usando plataformas digitais e laboratórios virtuais para o aprendizado a distância em tempos de guerra.
Larrañeta et al. (2025)	A Web-Based Virtual Laboratory for Teaching Chemical Synthesis: A Case Study on Lidocaine Synthesis.	O laboratório virtual permitiu aos estudantes engajarem-se em escolhas procedimentais e experimentarem resultados variáveis.
Moutsaklis, Paschalidou e Salta (2025)	Chemistry laboratory experiments focusing on students' engagement in scientific practices and central ideas of chemical practices.	Foram desenvolvidos dois experimentos com materiais domésticos, baseados em uma escala de pH de extratos de plantas.

**Fonte:** Os autores (2025).

### Integração Tecnológica e Pedagógica no Ensino Experimental de Química a Distância

2305

O ensino experimental de Química foi profundamente impactado pelas tecnologias digitais e pela pandemia de COVID-19, quando laboratórios virtuais e remotos permitiram o acesso às práticas sem necessidade do espaço físico. Esses recursos ampliaram o alcance do ensino e estimularam novas formas de mediação pedagógica (Vasconcelos; Silva, 2022; Villalobos-González et al., 2025; Silva).

Soluções como os *take-home labs* mostraram que a experimentação pode ocorrer em ambientes domésticos, com materiais acessíveis e de baixo custo, garantindo a continuidade do ensino e favorecendo a autonomia discente na EaD (Santiago et al., 2022; Lima; Souza, 2022).

Além disso, os recursos virtuais democratizaram o acesso, sobretudo em instituições com infraestrutura limitada, reduzindo custos, permitindo repetição de experimentos e minimizando riscos, o que contribui para uma formação mais flexível e segura (Beraldo; Oliveira; Stringhini, 2021; Villalobos-González et al., 2025).

Contudo, tais recursos não substituem a vivência sensorial e prática do laboratório físico, essencial para competências técnicas. Também persistem barreiras relacionadas às desigualdades digitais, como acesso limitado à internet e equipamentos (Rusyn et al., 2024; Silva; Vasconcelos; Silva, 2022).

A adoção desses laboratórios exigiu adaptação pedagógica, com docentes desenvolvendo metodologias inovadoras. Experiências demonstram que, aliados a metodologias ativas e gamificação, eles promovem engajamento e aprendizagens significativas (Zanelato; Melo Filho, 2025; Lima; Souza, 2022).

As transformações no ensino experimental em EaD revelam um movimento de integração entre tecnologia e pedagogia. Apesar dos desafios de acesso digital e da necessidade de complementaridade com práticas presenciais, estudos indicam que laboratórios virtuais e remotos se consolidam como tendência no ensino de Química (Beraldo; Oliveira; Stringhini, 2021; Villalobos-González et al., 2025).

### **Entre bancadas reais e simulações digitais: experiências alternativas em laboratórios de Química**

A expansão da EaD abriu novas possibilidades para o ensino experimental de Química, antes restrito ao espaço físico dos laboratórios. Nesse cenário, laboratórios virtuais, remotos e experiências domésticas passaram a coexistir, criando um modelo híbrido que amplia o repertório pedagógico e oferece múltiplas formas de vivência científica (Villalobos-González et al., 2025; Santiago et al., 2022).

2306

Entre as iniciativas, destacam-se os *take-home labs*, que utilizam materiais simples em ambiente doméstico, estimulando criatividade, autonomia e a conexão entre teoria e prática. O apoio de recursos digitais, como vídeos e discussões online, fortalece o engajamento e a aprendizagem significativa (Santiago et al., 2022; Lima; Souza, 2022).

Já os laboratórios virtuais e remotos oferecem simulações realistas e experimentos controlados por computador, ampliando a inclusão em instituições sem infraestrutura adequada. Além de reduzir riscos e custos, permitem repetir atividades, o que contribui para um aprendizado mais seguro e acessível (Beraldo; Oliveira; Stringhini, 2021; Larrañeta et al., 2025).

Entretanto, esses modelos não reproduzem integralmente a experiência sensorial da prática presencial, e ainda enfrentam obstáculos relacionados ao acesso desigual à internet e equipamentos (Rusyn et al., 2024; Silva; Vasconcelos; Silva, 2022).

A adoção dos laboratórios digitais também exigiu adaptação pedagógica, demandando domínio tecnológico e metodologias inovadoras. Associados a práticas ativas, como a gamificação, eles favorecem engajamento, motivação e aprendizagem colaborativa (Zanelato; Melo Filho, 2025).

Tais experiências não se limitam a soluções emergenciais, mas indicam uma transformação duradoura do ensino. A integração entre práticas presenciais e digitais projeta um modelo híbrido que alia rigor científico, inovação pedagógica e maior inclusão educacional (Santiago et al., 2022; Villalobos-González et al., 2025).

### O papel das metodologias síncronas e assíncronas na mediação das práticas experimentais

A organização das práticas experimentais em EaD exige a combinação de atividades síncronas e assíncronas, cada uma com funções complementares. Enquanto os encontros ao vivo favorecem a interação imediata, os momentos assíncronos permitem revisão, aprofundamento e exploração de simulações em ritmos diferenciados (Lima; Souza, 2022; Villalobos-González et al., 2025).

No formato síncrono, transmissões e videoconferências recriam parcialmente o ambiente presencial, aproximando os estudantes da realidade experimental e fortalecendo o senso de pertencimento (Santiago et al., 2022; Silva; Vasconcelos; Silva, 2022). Já no assíncrono, laboratórios virtuais, vídeos e materiais interativos oferecem autonomia e protagonismo, permitindo repetição de experimentos e estudo personalizado (Larrañeta et al., 2025; Samosa, 2021).

2307

O equilíbrio entre os dois formatos deve ser entendido como estratégia pedagógica. A integração de interações em tempo real com práticas autônomas potencializa aprendizagens significativas, sobretudo quando associada a metodologias ativas (Zanelato; Melo Filho, 2025).

Entretanto, o acesso desigual à tecnologia limita a viabilidade das práticas síncronas. Em contextos de vulnerabilidade, prevalecem as atividades assíncronas, como evidenciado durante a guerra na Ucrânia, quando esses recursos garantiram a continuidade mínima da formação (Rusyn et al., 2024).

A articulação entre atividades síncronas e assíncronas fortalece a resiliência educacional. Ao unir interação, flexibilidade e autonomia, configura-se como tendência duradoura no ensino de Química em EaD e parte integrante da formação científica no século XXI (Rusyn et al., 2024; Villalobos-González et al., 2025).

### Recursos audiovisuais e ambientes virtuais como apoio

O ensino de Química em ambientes virtuais tem nos recursos audiovisuais uma ponte entre teoria e prática. Vídeos, transmissões e animações facilitam a compreensão de conteúdos

complexos e aproximam os estudantes de experiências que exigiriam laboratórios presenciais de alto custo (Larrañeta et al., 2025; Silva; Vasconcelos; Silva, 2022).

Os ambientes virtuais de aprendizagem consolidam-se como espaços integradores, reunindo simulações, roteiros de experimentos e fóruns. Neles, laboratórios remotos ampliam o alcance das práticas e a associação entre kits caseiros e recursos audiovisuais reforça a ligação entre teoria e prática (Santiago et al., 2022; Villalobos-González et al., 2025).

As mídias digitais também permitem personalizar a aprendizagem: vídeos podem ser revistos, simuladores explorados em ritmos individuais e conteúdos articulados a metodologias ativas, fortalecendo autonomia e protagonismo discente (Zanelato; Melo Filho, 2025).

Softwares de simulação molecular, realidade aumentada e aplicativos móveis ampliam a imersão, possibilitando visualizar estruturas e reações em três dimensões e aprofundar a compreensão conceitual (Souza et al., 2021).

Entretanto, desigualdades no acesso à internet e a dispositivos dificultam a integração dessas ferramentas, sobretudo em contextos vulneráveis. Além disso, elas não substituem a experiência sensorial do laboratório físico, reforçando a necessidade de abordagens híbridas (Beraldo; Oliveira; Stringhini, 2021; Rusyn et al., 2024).

Os recursos audiovisuais e ambientes virtuais devem ser vistos como complementos que ampliam a mediação pedagógica, promovem inclusão e apontam para um modelo educacional mais flexível e preparado para os desafios científicos do futuro (Rusyn et al., 2024; Souza et al., 2021).

2308

### **Benefícios e limitações do uso de laboratórios virtuais e remotos na formação em Química**

A principal contribuição dos laboratórios virtuais e remotos está na acessibilidade, permitindo que instituições sem infraestrutura adequada ofereçam experiências experimentais e reduzam desigualdades. Além disso, favorecem a flexibilidade, pois o estudante pode explorar conteúdos no próprio ritmo, configurando-se como importante recurso para democratização do ensino de Química a distância (Beraldo; Oliveira; Stringhini, 2021; Souza et al., 2021; Villalobos-González et al., 2025).

Outro aspecto relevante é a segurança, já que procedimentos com substâncias perigosas podem ser simulados sem riscos, oferecendo visão detalhada dos fenômenos químicos e ampliando o repertório experimental disponível (Feijó et al., 2020; Larrañeta et al., 2025; Rusyn et al., 2024). Também se destacam no estímulo à motivação discente: a interatividade, as

simulações e elementos de gamificação rompem com a passividade das aulas expositivas, aumentando a curiosidade e o engajamento dos alunos (Araújo et al., 2024; Zanelato; Melo Filho, 2025).

Essa motivação se reflete em aprendizagem mais significativa, pois a possibilidade de repetir experimentos, manipular variáveis e observar diferentes cenários favorece a construção de conceitos sólidos e maior autonomia investigativa (Lima; Souza, 2022; Santiago et al., 2022; Souza et al., 2021). Entretanto, esses ambientes não substituem a experiência tátil e sensorial dos laboratórios físicos, fundamentais para o desenvolvimento de habilidades manuais e perceptivas (Mojica; Upmacis, 2023; Rusyn et al., 2024; Silva; Vasconcelos; Silva, 2022).

A literatura aponta que laboratórios virtuais e remotos devem atuar como complementos das práticas presenciais. Modelos híbridos, que integrem recursos digitais e experiências físicas, surgem como caminho mais promissor para ampliar o acesso, garantir segurança e fortalecer a formação científica em Química (Hinampas; Fajardo, 2024; Lima, 2021; Villalobos-González et al., 2025).

### **Metodologias ativas e gamificação no ensino experimental a distância**

A incorporação de metodologias ativas em EaD tem se mostrado eficaz para superar a 2309 passividade das aulas virtuais, especialmente pelo uso de jogos digitais e gamificação. Ao inserir desafios, recompensas e rankings, essas práticas aumentam o engajamento, a autonomia e o protagonismo discente na construção do conhecimento (Zanelato; Melo Filho, 2025; Souza et al., 2021). Mais que entretenimento, a gamificação pode mediar o raciocínio científico, permitindo a experimentação virtual de conceitos e a prática do método científico (Araújo et al., 2024; Samosa, 2021).

Além de tornar as atividades mais investigativas, metodologias como aprendizagem baseada em problemas ou projetos aproximam a Química de situações reais, essencial em EaD para evitar abstrações excessivas (Lima; Souza, 2022; Souza et al., 2021). Também reduzem o distanciamento físico, ao estimular interações entre estudantes e professores por meio de discussões, relatórios colaborativos e desafios, fortalecendo comunidades de aprendizagem (Souza et al., 2021).

Outro ponto relevante é a personalização possibilitada por recursos digitais, como jogos adaptativos e laboratórios virtuais, que permitem ritmos distintos e aprofundamento conforme as necessidades individuais. Essa flexibilidade respeita a diversidade de perfis e amplia o alcance

das práticas experimentais (Araújo et al., 2024; Samosa, 2021). Nesse sentido, metodologias ativas e gamificação consolidam-se como estratégias capazes de integrar motivação, investigação e interação, transformando os ambientes virtuais em espaços dinâmicos e críticos de aprendizagem científica, ainda que não substituam plenamente o contato sensorial dos laboratórios físicos (Lima; Souza, 2022; Zanelato; Melo Filho, 2025).

### **Desafios de infraestrutura e equidade no acesso às práticas experimentais em EaD**

A expansão da EaD em Química trouxe novas possibilidades, mas também expôs limitações ligadas à infraestrutura e à equidade. Estudantes de menor poder aquisitivo enfrentam barreiras no acesso a computadores, internet estável e espaços adequados, o que amplia desigualdades e compromete a aprendizagem prática (Lima; Souza, 2022; Rusyn et al., 2024). Situações emergenciais, como a pandemia de COVID-19, evidenciaram tais fragilidades: embora videoaulas, simulações e experimentos caseiros tenham sido alternativas, nem todos tiveram condições de acesso, gerando lacunas formativas (Lima; Souza, 2022; Mojica; Upmacis, 2022).

Em cenários de guerra, como na Ucrânia, a dependência de laboratórios virtuais tornou-se ainda mais evidente, diante da falta de segurança, energia e internet. Contudo, a desigualdade digital e os impactos psicológicos agravaram a motivação e o aprendizado de estudantes e docentes (Lima; Souza, 2022; Rusyn et al., 2024). Estudos recentes confirmam que, embora os laboratórios virtuais e remotos sejam alternativas viáveis, sua efetividade depende de infraestrutura tecnológica básica e acessível (Feijó et al., 2022; Silva; Vasconcelos; Silva, 2022).

Outro entrave é o custo de implementação: enquanto reduzem despesas com insumos físicos, exigem investimentos em softwares, equipamentos e manutenção que nem todas as instituições suportam (Silva; Vasconcelos; Silva, 2022; Villalobos-González et al., 2025). Soma-se a isso a formação docente, pois muitos professores não estavam preparados para integrar TDIC às práticas laboratoriais durante a pandemia. Em contrapartida, quando há capacitação e apoio institucional, essas ferramentas potencializam metodologias ativas e elevam o engajamento (Nascimento Lima, 2021; Zanelato; Melo Filho, 2025).

Quanto ao aprendizado prático, os resultados são ambivalentes. Experimentos domésticos mostraram ganhos de motivação, mas revelaram limitações no desenvolvimento de habilidades técnicas ligadas ao manuseio de equipamentos, criando lacunas em relação à experiência presencial (Santiago et al., 2022; Villalobos-González et al., 2025). Nesse sentido, a

equidade não se restringe ao acesso a recursos digitais, mas envolve também condições socioeconômicas e heterogeneidade institucional (Zanelato; Melo Filho, 2025).

Apesar dos obstáculos, os laboratórios remotos são apontados como caminho promissor para ampliar o acesso a experiências experimentais síncronas e assíncronas, especialmente para estudantes afastados de centros de ensino (Iso; Shermatovich, 2024; Villalobos-González et al., 2025). Em síntese, a literatura reconhece seu potencial inclusivo e flexível, mas ressalta a necessidade de articulação com metodologias ativas, investimentos em conectividade e políticas avaliativas consistentes (Feijó et al., 2022; Zanelato; Melo Filho, 2025).

### Perspectivas futuras para laboratórios de Química em ambientes virtuais

O futuro dos laboratórios virtuais de Química aponta para uma crescente incorporação de inteligência artificial (IA) e algoritmos de aprendizado de máquina como suporte pedagógico. Essas ferramentas permitem adaptar a experiência de aprendizagem às necessidades individuais dos estudantes, oferecendo feedback imediato e personalização de atividades. Além disso, a IA possibilita a análise de grandes volumes de dados provenientes das interações em ambientes virtuais, fornecendo subsídios para melhorar continuamente os roteiros experimentais e identificar dificuldades de aprendizagem em tempo real (Beraldo; Oliveira; Stringhini, 2021; Santiago et al., 2022). 2311

A realidade aumentada (RA) e a realidade virtual (RV) vêm se consolidando como alternativas imersivas para simulações laboratoriais, permitindo visualizar estruturas moleculares, reações e manipular equipamentos digitalmente. Essas tecnologias reduzem riscos, permitem repetição ilimitada de experimentos e tornam as atividades mais atraentes, reforçando o engajamento e, quando associadas a metodologias ativas, potencializam a aprendizagem (Santiago et al., 2022).

Outro horizonte importante é o fortalecimento de modelos de *blended learning*, que combinam práticas presenciais com recursos remotos e virtuais. Essa integração busca superar as limitações tanto do ensino exclusivamente online, marcado pela ausência do contato físico com equipamentos e reagentes, quanto do presencial, que enfrenta barreiras de infraestrutura e custos elevados. A experiência de “laboratórios em casa” demonstrou viabilidade durante a pandemia e pode ser incorporada como complemento permanente, unindo experimentos práticos de baixa complexidade a simulações digitais avançadas (Santiago et al., 2022).

A integração entre presencial e online emerge como tendência estratégica para o ensino de Química. Ambientes virtuais de aprendizagem, combinados com laboratórios remotos, permitem que estudantes acessem equipamentos reais à distância, ampliando a democratização do acesso às práticas experimentais. Além disso, tais sistemas podem ser incorporados a currículos híbridos, garantindo flexibilidade e promovendo maior equidade na formação de futuros profissionais. No Brasil, observa-se avanço nessa direção, com iniciativas que aproximam a tecnologia de realidades institucionais diversas, especialmente em contextos de restrição de recursos (Beraldo; Oliveira; Stringhini, 2021).

As tendências apontam para um cenário em que os laboratórios virtuais e remotos não apenas complementam, mas transformam a forma como o ensino experimental é concebido. A convergência de IA, RA/RV e metodologias híbridas deve proporcionar experiências formativas mais inclusivas, flexíveis e inovadoras, preparando estudantes para lidar com desafios. Contudo, para que esse futuro se concretize, será necessário investimento contínuo em pesquisa aplicada, formação docente e infraestrutura adequada, a fim de alinhar o potencial tecnológico às reais demandas pedagógicas (Beraldo; Oliveira; Stringhini, 2021; Santiago et al., 2022).

2312

## CONCLUSÃO

Este estudo, por meio de revisão sistemática, analisou desafios, estratégias e tendências do uso de laboratórios virtuais e remotos no ensino de Química a distância. As evidências indicam que esses recursos democratizam o acesso, ampliam a segurança, reduzem custos e favorecem a autonomia, além de integrarem metodologias ativas, gamificação e abordagens híbridas que fortalecem o engajamento e a aprendizagem significativa.

Entretanto, permanece o desafio de superar limitações inerentes a esses ambientes, em especial a ausência de vivências sensoriais e técnicas próprias do laboratório físico. Igualmente relevante é a necessidade de enfrentar desigualdades socioeconômicas e lacunas de infraestrutura digital, que ainda comprometem a equidade no acesso às práticas experimentais em diferentes contextos.

A literatura analisada indica que a plena consolidação dos laboratórios virtuais e remotos depende de políticas institucionais e públicas que assegurem investimentos contínuos em conectividade, suporte tecnológico e formação docente. Do mesmo modo, a integração desses

recursos com experiências presenciais mostra-se fundamental para garantir uma formação química mais completa, que articule teoria, prática, criticidade e criatividade.

Como tendência, observa-se o avanço de tecnologias emergentes, como inteligência artificial, realidade aumentada e ambientes híbridos, que podem ampliar a imersão e a personalização da aprendizagem. Tais perspectivas apontam para um cenário em que laboratórios físicos e digitais não competem, mas se complementam, configurando um ecossistema educacional mais inclusivo, flexível e alinhado às demandas científicas e sociais.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F. M.; MAIA, M. L.; MORAIS, S. M. P.; BARBOSA, M. M.; QUINTELA, T. G.; GUEDES, J. A. C.; OLIVEIRA, A. G.; SOUSA, F. W. Apps como recurso pedagógico para uma aprendizagem significativa no ensino da química - Breve revisão da literatura. *Lumen Et Virtus*, v. XV, n. XL, p.4481-4499, 2024. DOI: <https://doi.org/10.56238/levv15n40-031>.

BERALDO, A. L. da S.; OLIVEIRA, T.; STRINGHINI, D. Laboratórios remotos e virtuais no Brasil com foco no ensino: uma revisão sistemática da literatura. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 19, n. 1, p. 330-345, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22456/1679-1916.118493>.

RUSYN, I.; SLIVKA, M.; KOROL, N.; LENDEL, V. Challenges and benefits of using information technologies in teaching chemistry in Ukraine during wartime. *Sci. Bull. Uzhh. Univ. Ser. Chem.*, v. 52, n. 2, p. 119-123, 2024. DOI: [10.24144/2414-0260.2024.2.119-123](https://doi.org/10.24144/2414-0260.2024.2.119-123). 2313

MOJICA, E.-R. E.; UPMACIS, R. K. Challenges Encountered and Students' Reactions to Practices Utilized in a General Chemistry Laboratory Course During the COVID-19 Pandemic. *Journal of Chemical Education*, v. 99, n. 3, p. 1053-1059, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00838>.

FEIJÓ, A. L. R.; MEDINA, A. L.; HELLWIG, F. M.; MACHADO, M. M. Ambiente Virtual de Ensino em Laboratórios de Química (AQui): Expandindo o Ensino no YouTube. *EaD em Foco*, v. 12, n. 1, e1623, 2022. DOI: [10.18264/eadf.v12i1.1623](https://doi.org/10.18264/eadf.v12i1.1623).

LARRAÑETA, E.; MCCRUDDEN, M. T. C.; COURTENAY, A. J.; KEARNEY, M. C.; MCCALMONT, M.; DOMÍNGUEZ-ROBLES, J. A Web-Based Virtual Laboratory for Teaching Chemical Synthesis: A Case Study on Lidocaine Synthesis. *Journal of Chemical Education*, v. 102, p. 3631-3636, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00088>.

LIMA, G. S. N. Os desafios encontrados pela docência no ensino remoto em tempos de pandemia da COVID-19: Uma revisão bibliográfica. *Revista Ibero-Americanas de Humanidades, Ciências e Educação*, v.7, n.8, ago. 2021. DOI: [doi.org/10.51891/rease.v7i8.2022](https://doi.org/10.51891/rease.v7i8.2022).

LIMA, V. M. R.; SOUZA, K. S. Estratégias para o ensino de Química remoto: Uma revisão sistemática da literatura. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 9, e444911932091, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-vii9.32091>.

MOUTSAKIS, M.; PASCHALIDOU, V.; SALTA, K. Chemistry laboratory experiments focusing on students' engagement in scientific practices and central ideas of chemical practices. *Chemistry Teacher International*, v. 7, n. 1, p. 173-182, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1515/cti-2024-0070>.

HINAMPAS, R. T.; FAJARDO, M. T. Pedagogical content knowledge studies in the context of chemistry education in the Philippines: A meta-analysis. *Sci. Int.(Lahore)*, v. 36, n. 2, p. 163-171, 2024. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/380266545\\_PEDAGOGICAL\\_CONTENT\\_KNOWLEDGE\\_STUDIES\\_IN\\_THE\\_CONTEXT\\_OF\\_CHEMISTRY\\_EDUCATION\\_IN\\_THE\\_PHILIPPINES\\_A\\_META-ANALYSIS](https://www.researchgate.net/publication/380266545_PEDAGOGICAL_CONTENT_KNOWLEDGE_STUDIES_IN_THE_CONTEXT_OF_CHEMISTRY_EDUCATION_IN_THE_PHILIPPINES_A_META-ANALYSIS)>. Acessado em: 22 jul. 2025.

ISO, R. M.; SHERMATOVICH, X. B. Teaching Chemistry Based on Distance Education Technologies (Synchronous and Asynchronous Teaching Methods). *Modern Science and Research*, v. 3, n. 6, p. 1133-1139, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12597979>.

SAMOSA, R. C. Mobile Virtual Laboratory as Innovative Strategy to Improve Learners' Achievement, Attitudes, and Learning Environment in Teaching Chemistry. *International Journal of Multidisciplinary: Applied Business and Education Research*, v. 2, n. 5, p. 398-400, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11594/ijmaber.02.05.04>.

SANTIAGO, D. E.; MELIÁN, E. P.; REBOSO, J. V. Lab at Home in Distance Learning: A Case Study. *Education for Chemical Engineers*, v. 40, p. 37-44, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2022.03.004>.

SILVA, C. R. M.; VASCONCELOS, F. H. L.; SILVA, M. G. V. Laboratórios virtuais no ensino de Química: uma revisão sistemática da literatura. *Conexões – Ciência e Tecnologia*, v. 16, p. 1-12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21439/conexoes.v16io.2278>. 2314

SOUZA, L. D.; SILVA, B. V.; ARAUJO NETO, W. N.; REZENDE, M. J. C. Tecnologias digitais no ensino de Química: Uma breve revisão das categorias e ferramentas disponíveis. *Revista Virtual de Química*, v. 13, n. 3, p. 713-746, 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20210041>.

VILLALOBOS-GONZÁLEZ, W.; ARGUEDAS-MATARRITA, C.; CAPUYA, F.; IDOYAGA, I. J. Laboratorios remotos para la rnseñanza y rprendizaje de la química: Una revisión sistemática. *Educación en la Química*, v. 31, n. 2, p. 108-128, 2025. Disponível em: <<https://educacionenquimica.com.ar/index.php/edenlaq/issue/view/79/60>>. Acessado em: 13 ago. 2025.

ZANELATO, A. I.; MELO FILHO, A. A. Utilização de Metodologias Ativas no Ensino de Química. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, v. 17, n. 2, p. 01-21, 2025. DOI: <https://doi.org/10.55905/cuadv17n2-002>.