

# A inteligência artificial no ensino de biologia: uma revisão sistemática da produção acadêmica brasileira

## Artificial intelligence in biology education: a systematic review of the brazilian literature

## La inteligencia artificial en la enseñanza de la biología: una revisión sistemática de la producción académica brasileña

Carlos Alex Silva<sup>1\*</sup>, Everton Bedin<sup>2\*\*</sup>

### Resumo

Este trabalho apresenta um estado do conhecimento, caracterizado como uma pesquisa de natureza básica, sobre a aplicação da Inteligência Artificial (IA) no ensino de Biologia, com foco na produção acadêmica brasileira. O objetivo principal foi mapear, analisar e caracterizar as abordagens metodológicas, as tecnologias e os principais resultados de sete trabalhos selecionados na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). A metodologia operacionalizou-se por meio de uma Revisão Sistemática de Literatura, complementada pela Análise de Conteúdo de Bardin para o tratamento rigoroso e qualitativo dos dados extraídos. A análise revelou uma notável evolução nas aplicações de IA: partindo de agentes pedagógicos focados na autoeficácia e motivação, passando por simulações complexas e ferramentas de modelagem qualitativa voltadas ao desenvolvimento do pensamento sistêmico, até chegar aos recentes chatbots de apoio a metodologias ativas. Os resultados indicam que a IA tem sido empregada com sucesso para facilitar a compreensão de sistemas biológicos complexos, atuando como uma potente ferramenta de mediação e suporte ao trabalho docente. Conclui-se que a IA se consolida no cenário educacional brasileiro, embora demande maior integração pedagógica crítica para evitar a atrofia cognitiva e promover a sabedoria digital.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial; Ensino de Biologia; Estado do Conhecimento; Tecnologia Educacional.

---

<sup>1\*</sup>Licenciado em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE); Especialista em Ciências da Natureza, suas Tecnologias e o Mundo do Trabalho pela Universidade Federal do Piauí (UFPI). Atualmente é mestrando em Educação em Ciências e em Matemática pelo Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática da Universidade Estadual do Paraná (UFPR). Endereço para correspondência: Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Centro Politécnico, Setor de Ciências Exatas, Departamento de Química, Jardim das Américas, Curitiba, PR, Brasil, CEP: 81531-980. ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7233-6423>. Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3126701502196557>. E-mail: [calexsilva18@gmail.com](mailto:calexsilva18@gmail.com).

<sup>2\*\*</sup>Licenciado em Química pela Universidade de Passo Fundo (UPF); Especialista em Tecnologias na Educação pela Universidade Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS); Mestre em Educação Química pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU); Pós-doutor e Doutor em Educação em Ciências: química da vida e saúde pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atualmente é professor permanente no Departamento de Química e no Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e em Matemática da Universidade Estadual do Paraná (UFPR). Endereço para correspondência: Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Centro Politécnico, Setor de Ciências Exatas, Departamento de Química, Jardim das Américas, Curitiba, PR, Brasil, CEP: 81531-980. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5636-0908>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9498564582615440>. E-mail: [everton.bedin@gmail.com](mailto:everton.bedin@gmail.com).

### **Abstract**

This paper presents a state of knowledge study, characterized as basic research, regarding the application of Artificial Intelligence (AI) in Biology teaching, focusing on Brazilian academic production. The main objective was to map, analyze, and characterize the methodological approaches, technologies, and primary results of seven works selected from the Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations (BDTD). The methodology was operationalized through a Systematic Literature Review, complemented by Bardin's Content Analysis for the rigorous and qualitative treatment of the extracted data. The analysis revealed a notable evolution in AI applications: starting from pedagogical agents focused on self-efficacy and motivation, moving through complex simulations and qualitative modeling tools aimed at developing systemic thinking, and reaching recent chatbots that support active methodologies. The results indicate that AI has been successfully employed to facilitate the understanding of complex biological systems, acting as a powerful mediation and support tool for teaching. It is concluded that AI is consolidating within the Brazilian educational landscape, although it requires greater critical pedagogical integration to prevent cognitive atrophy and promote digital wisdom.

**Keywords:** Artificial Intelligence; Biology Education; State of Knowledge; Educational Technology.

### **Resumen**

Este trabajo presenta un estado del conocimiento, caracterizado como investigación básica, sobre la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en la enseñanza de la Biología, centrado en la producción académica brasileña. El objetivo principal fue mapear, analizar y caracterizar los enfoques metodológicos, las tecnologías y los principales resultados de siete trabajos seleccionados en la Biblioteca Digital Brasileña de Tesis y Disertaciones (BDTD). La metodología se operacionalizó mediante una Revisión Sistemática de la Literatura, complementada con el Análisis de Contenido de Bardin para el tratamiento riguroso de los datos. El análisis reveló una notable evolución en las aplicaciones de IA: partiendo de agentes pedagógicos centrados en la autoeficacia, pasando por simulaciones complejas y modelado cualitativo para el pensamiento sistémico, hasta llegar a chatbots de apoyo a metodologías activas. Los resultados indican que la IA se ha empleado con éxito para facilitar la comprensión de sistemas biológicos complejos, actuando como una potente herramienta de mediación docente. Se concluye que la IA se consolida en el escenario educativo brasileño, aunque demanda una mayor integración pedagógica crítica para evitar la atrofia cognitiva y promover la sabiduría digital.

**Palabras clave:** Inteligencia Artificial; Enseñanza de Biología; Estado del Conocimiento; Tecnología Educativa.

### **Introdução**

O início do século XXI é marcado por profundas transformações sociais e tecnológicas. Segundo Weiss (2019), a constante criação de inovações nas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) atua como o principal motor dessas mudanças. Nesse contexto ganha destaque a “onipresença computacional”, um conceito que o autor fundamenta em Weiser (1999) para explicar a convergência entre a *internet*, as redes sem fio, os aplicativos e os dispositivos móveis. Atualmente, essa integração funciona como um vetor essencial para estabelecer

novas formas de interação e colaboração, o que provoca impactos diretos e exige reconfigurações no processo educativo.

Em virtude dessa nova realidade, superar os limites da chamada “sala de aula instrucionista” deixou de ser um simples desejo e se tornou uma urgência civilizatória. Conforme a definição de Demo (2023), esse modelo permanece atrelado a práticas pedagógicas tradicionais que restringem o ensino à mera transmissão de conteúdos e perpetuam a passividade dos estudantes. Torna-se fundamental, portanto, a transição para abordagens mais holísticas. O objetivo dessa mudança é consolidar metodologias que estimulem a interatividade, o pensamento crítico e o protagonismo discente, orientando o aprendizado para a resolução de problemas concretos e ancorados na vivência real.

Diante desse cenário mais amplo, fundamentado na urgência de inovações para superar as atuais limitações do ecossistema escolar, a adoção de sistemas computacionais avançados e de ambientes virtuais consolida-se como a via mais promissora para reconfigurar a prática educativa. Conforme aponta Cavalcante (2015), essas tecnologias abrem novos horizontes investigativos e estabelecem-se como o eixo central de interação na construção ativa do conhecimento. Essa visão encontra respaldo e é ampliada pelas ideias de Pereira e Sampaio (2008). Os autores argumentam que a criação de ferramentas computacionais voltadas para a análise de mundos artificiais gera espaços de ensino com vastas possibilidades de investigação. A convergência dessas abordagens teóricas evidencia, portanto, que a tecnologia atua de maneira decisiva no rompimento com os modelos educacionais restritos. Consequentemente, os estudantes acabam engajados em um ambiente que favorece a descoberta prática, a testagem de hipóteses e a formulação autônoma de conclusões.

Em sua essência, o ensino de Biologia lida com a complexidade inerente aos sistemas vivos. O estudo das Ciências Naturais e de seus fenômenos abstratos envolve a compreensão de processos dinâmicos e de interações multifatoriais. Conforme aponta Souza (2019), essa característica eleva naturalmente o grau de exigência para os alunos, uma vez que demanda a assimilação de relações de causa e efeito em diferentes escalas. Essa visão sistêmica é indispensável em

diversas subáreas da biologia. A compreensão da fisiologia dos organismos e da neurofisiologia, por exemplo, envolve sistemas de funcionalidade complexa e requer que os estudantes consigam reduzir o alto nível de abstração desses temas (Santos, 2009). Além disso, a disciplina exige a habilidade de conectar diferentes níveis de organização, o que leva o aluno a transitar frequentemente por variadas perspectivas. Esse movimento intelectual ocorre tanto na passagem do nível molecular para o comportamental (Santos, 2009) quanto na ampliação da escala microscópica, como na observação da divisão celular, para a compreensão da dinâmica macroecológica e de populações (Figueiredo, 2012; Cavalcante, 2015).

Com base nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN+) de 2006, Figueiredo (2012) destaca que o ensino deve capacitar o estudante a interpretar as relações alimentares e a identificar a transferência de matéria e energia em cada nível de organização. Sendo assim, das reações bioquímicas às complexas cadeias tróficas da biosfera, não basta abordar os domínios de forma isolada. É imperativo integrá-los para compreender de forma processual como os comportamentos dos sistemas vivos emergem e se organizam. Essa perspectiva integradora é corroborada por Odum e Barret (2007), que evidenciam a importância de analisar a dinâmica dos ecossistemas de forma sistêmica, onde o comportamento das populações emerge diretamente de suas interações com as limitações e variáveis do ambiente.

Diante dessa complexidade, as abordagens pedagógicas tradicionais, geralmente baseadas em representações estáticas de livros didáticos, apresentam limitações significativas para retratar os fenômenos biológicos de maneira adequada. Para Cavalcante (2015), essa defasagem pode resultar em uma aprendizagem superficial e fragmentada. Somado a isso, a dificuldade em visualizar processos dinâmicos, a exemplo da regulação da pressão arterial ou das interações em um ecossistema, gera desengajamento. Conforme alertam Bezerra *et al.* (2008), esse cenário contribui para que a Biologia seja percebida como uma matéria puramente mnemônica, levando os estudantes a apenas memorizarem conceitos de forma mecânica e desestimulada.

Nesse cenário, a Inteligência Artificial (IA) se destaca como uma importante fronteira tecnológica. Conceituada por Pereira (2024) como uma área da ciência da

computação dedicada a desenvolver sistemas capazes de realizar tarefas características da inteligência humana, a IA fornece os recursos necessários para a criação de experiências de aprendizagem personalizadas, interativas e adaptativas. Diferentemente dos softwares educacionais tradicionais, esses sistemas inovadores conseguem acompanhar o aluno de forma mais profunda. Conforme apontam Verdin (2007) e Cavalcante (2015), a tecnologia é capaz de analisar o comportamento dos estudantes e inferir seus estados cognitivos e afetivos, o que permite entregar um suporte individualizado e em tempo real. As aplicações práticas desse modelo são variadas e transformam o ambiente de ensino. Elas incluem desde simulações que possibilitam a manipulação de variáveis complexas em laboratórios virtuais seguros (Santos, 2009) até o uso de agentes conversacionais, como os *chatbots*, que atuam na tutoria e na mediação de diálogos. Dessa forma, Moreira (2022) e Pereira (2024) evidenciam que a IA traz soluções concretas para suprir as demandas e superar os desafios pedagógicos enfrentados no ensino de Biologia.

Apesar do amplo reconhecimento sobre o potencial transformador dessas tecnologias, a literatura acadêmica ainda apresenta uma lacuna metodológica considerável. Na prática, falta uma sistematização rigorosa capaz de consolidar os resultados empíricos sobre a aplicação e a eficácia dessas ferramentas no cenário educacional brasileiro. Por esse motivo, é essencial mapear com rigor científico como a IA tem superado as barreiras da pesquisa teórica para se materializar em intervenções pedagógicas concretas e avaliáveis nas escolas e universidades do país. Diante dessa necessidade, o principal objetivo deste trabalho é investigar essa defasagem de maneira sistemática. A intenção é fornecer à comunidade acadêmica um panorama analítico aprofundado, que vá além do simples catálogo das ferramentas disponíveis. Dessa forma, o estudo visa orientar futuras aplicações curriculares e fundamentar novas diretrizes para as políticas de integração tecnológica no ensino de Biologia.

A produção acadêmica brasileira, especialmente nos cursos de pós-graduação, tem explorado esse potencial tecnológico de maneira crescente e aprofundada. O avanço metodológico e a diversificação dessas ferramentas são bem fundamentados pelos achados de Vasconcelos e Frota (2025). Por meio de uma ampla revisão e demonstração empírica sobre o uso da IA Generativa na

educação, os autores constataram que a expansão das plataformas baseadas em Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs) tem provocado uma verdadeira mudança de paradigma. A pesquisa evidencia que os educadores conseguem integrar essas tecnologias como aliadas no planejamento didático, mesmo sem formação prévia em programação. Com a aplicação da engenharia de *prompts*, esses profissionais se tornam capazes de desenvolver aplicativos educacionais acessíveis e sofisticados (Vasconcelos; Frota, 2025). Esse contexto confirma que a ciência nacional acompanha os avanços globais, mas também adapta de forma crítica essas inovações à realidade das salas de aula brasileiras.

Ao observar a cronologia da produção científica na área, nota-se uma evolução que acompanha o próprio amadurecimento da IA e das teorias de aprendizagem. Inicialmente, os estudos priorizavam os aspectos psicológicos e a mediação afetiva (Verdin, 2007). Com o passar do tempo, os trabalhos passaram a focar na promoção do pensamento sistêmico (Figueiredo, 2012; Cavalcante, 2015; Souza, 2019) e, de forma mais recente, na integração estruturada com as metodologias ativas de ensino (Moreira, 2022; Pereira, 2024).

Frente ao cenário exposto, a presente pesquisa estabelece como propósito central mapear, analisar e caracterizar as abordagens metodológicas, as tecnologias e os principais resultados das produções selecionadas na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), buscando responder às seguintes questões de pesquisa: i) como a IA tem sido aplicada no ensino de Biologia no contexto brasileiro, segundo as teses e dissertações produzidas no país; e, ii) quais são as principais contribuições, desafios e tendências da IA no ensino de Biologia?

A relevância deste estudo reside em consolidar o conhecimento produzido na área, identificar lacunas e apontar direções para futuras investigações, contribuindo para o avanço da pesquisa e da prática pedagógica no ensino de Biologia mediado por tecnologias inteligentes.

## **Referencial Teórico**

A intersecção entre IA e Ensino de Biologia, basicamente, ancora-se em um tripé teórico: 1) o Construtivismo e as Metodologias Ativas, que posicionam o aluno

como protagonista (Moreira, 2022); 2) a Psicologia Cognitiva e Afetiva, que reconhece a importância da motivação e da autoeficácia (Verdin, 2007); e, 3) a Teoria de Sistemas e a IA, que fornecem as ferramentas para modelar a complexidade (Cavalcante, 2015; Souza, 2019). As premissas que sustentam esse entrelaçamento epistemológico têm sido corroboradas por estudos recentes que investigam a fusão de abordagens tecnológicas com o intuito de democratizar o acesso à alfabetização científica e matemática, estabelecendo pontes entre a fabricação digital, o raciocínio heurístico e a mediação socioconstrutivista (Cardoso; Barreto; Frota, 2026).

### **O Construtivismo e as Metodologias Ativas: O Aluno como Protagonista**

A base pedagógica da maioria dos trabalhos analisados alinha-se a uma visão construtivista da aprendizagem, na qual o conhecimento não é passivamente recebido, mas ativamente construído pelo sujeito em sua interação com o meio (García, 2002). Essa perspectiva, com raízes em teóricos como Jean Piaget, defende que “a primeira tarefa da educação consiste em formar o raciocínio”, enfatizando a criatividade e a liberdade do aprendiz para reconstruir e reelaborar ideias (Piaget, 1977, p. 37). Nesta esteira do pensamento piagetiano, a assimilação de novos conceitos biológicos exige invariavelmente uma desestabilização cognitiva prévia. O desenvolvimento intelectual perpassa a distinção fundamental entre o mero realizar uma ação com sucesso, seguindo uma heurística de repetição cega, e a verdadeira compreensão conceitual amparada na reflexão crítica (Valente; Blikstein, 2019). Essa tomada de consciência estrutural é absolutamente imperativa para que o estudante de Biologia consiga transcender a estéril memorização de nomenclaturas taxonômicas ou reações do metabolismo celular, alcançando a almejada capacidade de abstração, transferência de conhecimento e generalização aplicável a novos contextos fenomenológicos.

É importante destacar que as metodologias ativas encontram um terreno fértil e convergente nas premissas da Cultura Maker e da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABPr). Ambas as abordagens defendem a centralidade do “aprender fazendo”, unindo de forma indissociável a prática ao engajamento intelectual

profundo. Dentro desse contexto construcionista, fundamentado nas ideias inovadoras de Seymour Papert (2008), as tecnologias digitais e os recursos de IA deixam de ser meras ferramentas de exposição. Na prática, elas passam a atuar como uma verdadeira “janela para a mente” do estudante, uma vez que o artefato computacional materializa e torna visíveis os esquemas lógicos e os modelos mentais utilizados pelos alunos na resolução de problemas biológicos. A partir dessa visibilidade, o professor obtém um panorama diagnóstico imediato. Isso permite uma intervenção precisa e personalizada na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) do aprendiz, um conceito central da teoria sociointeracionista de Vygotsky (Valente; Blikstein, 2019). Somado a isso, a Sala de Aula Invertida também se destaca como uma metodologia amplamente beneficiada pelo suporte tecnológico. De acordo com Valente (2014), esse modelo transfere o estudo do material expositivo para o momento prévio à aula. Conseqüentemente, o tempo presencial é otimizado e pode ser dedicado a interações mais significativas e aprofundadas, como discussões e atividades práticas.

### **A Psicologia Cognitiva e Afetiva: Motivação e Autoeficácia**

Para além do cognitivismo, os trabalhos reconhecem a dimensão afetiva como um fator crucial para a aprendizagem. A Teoria da Autoeficácia de Albert Bandura (1997) é um pilar central, definindo autoeficácia como a crença do indivíduo em sua própria capacidade de exercer controle sobre os eventos. Essa crença influencia diretamente a motivação, a persistência diante de obstáculos e o esforço empregado em uma tarefa. O trabalho de Verdin (2007) operacionaliza esse conceito ao criar um sistema de IA que infere o nível de autoeficácia do aluno e fornece *feedback* personalizado para fortalecê-la, atuando como um “andaime afetivo”.

Esse arcabouço da psicologia da aprendizagem ganha uma importância fundamental quando se observa o frequente distanciamento afetivo dos estudantes em relação às disciplinas de ciências exatas e naturais. De acordo com Cardoso, Barreto e Frota (2026), estereótipos acadêmicos enraizados, expectativas culturais limitantes e currículos muitas vezes punitivos são fatores que prejudicam a autoimagem intelectual do aluno e diminuem sua confiança cognitiva. Diante desse

cenário, a capacidade dos sistemas computacionais de monitorar variáveis afetivas, medir níveis de frustração e intervir de forma positiva com encorajamento representa um avanço significativo na personalização do ensino. Conforme aponta Verdin (2007), esse suporte tecnológico funciona como uma proteção contra o desamparo aprendido. Ao atuar dessa forma, a tecnologia ajuda a mitigar as angústias que, em casos mais extremos, poderiam levar à evasão escolar e ao abandono das carreiras científicas.

A motivação dos estudantes também é impulsionada por estratégias metodológicas inovadoras, como a gamificação e os agentes aprendizes virtuais. Em relação à gamificação, a literatura destaca a aplicação de elementos e mecânicas de jogos como um recurso altamente eficaz. Essa prática, fundamentada nos modelos teóricos de Kapp (2012) e na estrutura conceitual de Chou (2021), apresenta resultados expressivos na educação. A literatura aponta que a sua utilização contribui de forma significativa para elevar o engajamento e reduzir as taxas de desistência em ambientes de aprendizagem online.

Por outro lado, os agentes aprendizes virtuais proporcionam um ambiente educativo interativo no qual o aluno assume o papel de tutor de um personagem digital, muitas vezes representado por um animal de estimação (Cavalcante, 2015). Essa dinâmica pedagógica fortalece o comprometimento do discente, que passa a ser motivado pelo senso de responsabilidade e pelo desejo de ver o seu agente alcançar um bom desempenho nas avaliações. Além disso, a estratégia reduz de maneira significativa o medo de errar, visto que as eventuais falhas são atribuídas metaforicamente ao personagem, e não ao estudante. Como resultado, todo esse processo ameniza a culpa diante das dificuldades e transforma a correção de erros em uma tarefa natural de auxílio contínuo.

### **Teoria de Sistemas e Inteligência Artificial: Modelando a Complexidade**

A IA fornece a base tecnológica essencial para representar e simular a vasta complexidade dos sistemas biológicos. Diante desse contexto, a literatura científica destaca duas abordagens principais de modelagem. A primeira delas é a vertente conexionista, estruturada pelas Redes Neurais Artificiais (RNAs). Conforme

demonstrado na pesquisa de Santos (2009), esse método computacional imita o funcionamento do cérebro humano na solução de problemas, o que permite uma aquisição contínua de conhecimento por meio da experiência. Por sua vez, a segunda abordagem baseia-se nos Sistemas Multiagentes (SMA), que constituem um importante ramo da Inteligência Artificial Distribuída (IAD). De acordo com o estudo de Figueiredo (2012), esse modelo simula o comportamento de sistemas complexos a partir da interação cooperativa entre diversas entidades autônomas. Na prática, todo esse processo recria um ambiente computacional descentralizado, estabelecendo uma dinâmica de distribuição de tarefas muito semelhante à organização natural encontrada em uma colmeia.

No cenário educacional, o Raciocínio Qualitativo (RQ) desponta como uma abordagem de grande relevância. Essa área da IA dedica-se a representar o conhecimento sobre o mundo físico de forma conceitual, o que dispensa a necessidade de equações numéricas complexas (Souza, 2019). Fundamentada na Teoria Qualitativa dos Processos, consolidada por Kenneth Forbus (1984), essa vertente tecnológica possibilita que os estudantes construam modelos voltados para as relações causais entre as diversas variáveis de um determinado sistema (Salles; Bredeweg, 2006). Essa perspectiva apresenta uma forte conexão com a Dinâmica de Sistemas, um campo estruturado por Jay Forrester que incentiva diretamente o desenvolvimento do pensamento sistêmico. De acordo com Forrester (2009), essa prática educacional consolida a capacidade do aluno de compreender o todo e as inter-relações entre as partes, com destaque especial para o funcionamento e a atuação dos mecanismos de retroalimentação.

A principal vantagem pedagógica do RQ reside em sua capacidade de reduzir a sobrecarga cognitiva, comumente associada à exigência de fórmulas matemáticas complexas. Ao libertar o estudante da necessidade de calcular taxas exatas, o método direciona o foco da aprendizagem para a compreensão da lógica estrutural e comportamental do fenômeno investigado. Desse modo, as variáveis ambientais e as interações biológicas podem ser expressas de maneira fluida por meio de grandezas qualitativas. Essa configuração aproxima o modelo computacional da forma intuitiva como a mente humana compreende os ecossistemas. Conforme demonstra a pesquisa de Souza (2019), ao construir e simular esses modelos, os

alunos abandonam uma percepção unilateral e fragmentada. Como resultado desse processo, passam a desenvolver um entendimento amplo, sistêmico e dinâmico dos fenômenos biológicos.

## Metodologia

A presente investigação caracteriza-se como uma pesquisa de natureza básica. Conforme postula Gil (2008), esse tipo de estudo tem como objetivo gerar novos conhecimentos úteis para o avanço da ciência, sem a exigência imediata de uma aplicação prática. Dessa forma, o foco principal recai sobre a ampliação do entendimento teórico acerca de um determinado fenômeno, com o intuito de estruturar bases sólidas para intervenções futuras. Para alcançar essa meta, adotou-se uma abordagem qualitativa de caráter exploratório.

A escolha por um objetivo exploratório justifica-se pelo fato de a aplicação da IA no ensino de Biologia representar um cenário tecnológico e pedagógico emergente. Segundo Gil (2008), as pesquisas dessa natureza têm como propósito primordial proporcionar uma maior familiaridade com o problema de estudo, visando torná-lo mais explícito ou construir hipóteses consistentes. Como o tema ainda se encontra em fase de amadurecimento na literatura acadêmica nacional, tornou-se imprescindível realizar um mapeamento inicial detalhado para reconhecer e compreender suas dinâmicas, tendências e lacunas operacionais.

Em relação ao seu delineamento metodológico, o estudo configura-se como um estado do conhecimento. Conforme esclarecem Romanowski e Ens (2006), existe uma diferença prática entre esse modelo e o chamado "estado da arte". Enquanto o estado da arte busca abranger a totalidade das produções sobre um determinado tema em múltiplas fontes e bases de dados, o estado do conhecimento restringe o seu escopo analítico a um setor ou a um repositório específico de publicações. A presente pesquisa enquadra-se rigorosamente nessa tipologia. Essa escolha justifica-se pelo fato de a análise da produção acadêmica *stricto sensu* ter se limitado a um único ambiente documental, correspondente à Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD).

Para a condução deste estado do conhecimento, estruturado sob os parâmetros de uma revisão sistemática, a operacionalização da busca e da análise documental baseou-se nas orientações de Romanowski e Ens (2006). Seguindo as recomendações dessas autoras para o mapeamento da produção acadêmica, a pesquisa teve início com a definição dos descritores, a delimitação do acervo investigado e o estabelecimento do problema central. Na etapa seguinte, ocorreu o levantamento bibliográfico sistemático e a seleção dos trabalhos, com a aplicação de critérios rigorosos de inclusão e exclusão. Após essa triagem, realizou-se a leitura na íntegra dos documentos, seguida pela categorização dos dados extraídos e pela avaliação crítica dos achados. Todo esse percurso culminou na síntese analítica que fundamenta os resultados da presente pesquisa. Esse alinhamento metodológico atende a propósitos que vão além do simples inventário e da sistematização das publicações. Conforme destacam Romanowski e Ens (2006), a adoção dessa estrutura rigorosa permite compreender as tendências, as abordagens metodológicas e as lacunas do campo investigado, o que garante a total replicabilidade do estudo.

A busca estruturada na fase de condução na BDTD foi realizada mediante a *string*: “inteligência artificial” AND “ensino” AND “biologia”. Definiram-se como critérios de inclusão: i) Trabalhos publicados em língua portuguesa; ii) Trabalhos focados no desenvolvimento ou na aplicação de ferramentas de IA no ensino escolar ou acadêmico de Biologia no contexto brasileiro; e, iii) Trabalhos com texto completo disponível. Como critérios de exclusão, adotaram-se: i) Trabalhos em idiomas que não o português; ii) Pesquisas que utilizassem a IA puramente para processos biotecnológicos, sem foco pedagógico; e, iii) Trabalhos indisponíveis na íntegra.

Essa busca inicial retornou 18 trabalhos. Após a triagem, 11 foram excluídos por apresentarem foco puramente tecnológico ou não pedagógico. Os 7 trabalhos restantes constituíram o *corpus* final da revisão, compreendendo 4 teses e 3 dissertações, conforme detalhado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Resultados das buscas por descritores**

“Inteligência artificial” AND “ensino” AND	18	11	7
--	----	----	---

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Para o tratamento e interpretação das informações, utilizou-se a Análise de Conteúdo de Bardin (2011), estruturada em três fases fundamentais: (i) a pré-análise, constituída pela leitura flutuante e seleção do corpus de oito trabalhos; (ii) a exploração do material, onde ocorreu a codificação e identificação das unidades de registro; e (iii) o tratamento dos resultados e inferência, que permitiu a categorização final e a discussão teórica dos achados.

A adoção do referencial analítico de Laurence Bardin justificou-se pela sua reconhecida consistência e precisão na interpretação dos dados. Durante a fase inicial de pré-análise, a leitura atenta dos resumos, das introduções e das conclusões dos manuscritos possibilitou a estruturação de um *corpus* documental homogêneo, completo e representativo do fenômeno investigado. Em seguida, a exploração aprofundada do material direcionou o estudo para um processo minucioso de codificação. Nesse estágio, trechos dos textos foram selecionados e agrupados em núcleos de sentido convergentes, o que permitiu identificar as bases teóricas e epistemológicas que fundamentam cada tese e dissertação analisada. Todo esse percurso culminou no tratamento categorial, fase em que a pesquisa ultrapassou a simples observação dos dados brutos. Esse aprofundamento analítico tornou possível não apenas descrever as ferramentas computacionais de forma quantitativa, mas também revelar as intencionalidades pedagógicas, os eixos temáticos dominantes e os paradigmas educacionais que orientam a inserção da IA no ensino de Biologia no Brasil.

## Resultados e Discussão

A análise dos oito trabalhos selecionados revela um panorama rico e diversificado da pesquisa científica brasileira sobre o uso da IA no ensino de Biologia. Para estruturar essas informações de maneira clara, os Quadros 1 e 2 sintetizam as principais características de cada estudo. Dessa forma, os dados apresentados nesses recursos servem como base fundamental para a discussão aprofundada conduzida nas seções subsequentes.

**Quadro 1 – Caracterização Institucional das Teses e Dissertações Analisadas**

Autor(a)/Ano	Tipo	Título	Instituição	Programa	Região/Estado	Gênero
Verdin (2007)	T	Análise Exploratória sobre a Relação das Táticas de Feedback e Auto-Eficácia do Aprendiz em um Ambiente Virtual de Aprendizagem	UFRGS	Pós-Graduação em Informática na Educação	Sul/RS	F
Santos (2009)	T	Simulação Dinâmica Computacional de Dependência de Drogas por Meio de Redes Neurais Artificiais: uma Abordagem Sintética	UNICAMP	Pós-Graduação em Biologia Funcional e Molecular	Sudeste/SP	M
Figueiredo (2012)	D	Sim-Colmeia: ambiente de simulação da dinâmica de uma colmeia para o ensino de Biologia	UERJ	Pós-Graduação em Ciências Computacionais	Sudeste/RJ	M
Cavalcante (2015)	D	Avaliação do Uso de Modelagem Qualitativa com Apoio de Agentes Aprendizes Virtuais na Compreensão da Dinâmica de Sistemas	UNB	Pós-Graduação em Ensino de Ciências	Centro-Oeste/DF	M
Souza (2019)	T	Modelos de Simulação Qualitativos como Estratégia para o Ensino de Ciências	UNB	Pós-Graduação em Educação em Ciências	Centro-Oeste/DF	M
Moreira (2022)	D	Uso de chatbot em ambientes virtuais de aprendizagem no ensino de Biologia	UNICAMP	Mestrado em Ensino de Biologia	Sudeste/SP	M
Pereira (2024)	D	O Ensino de Biologia Através da Resolução de Problemas Usando Inteligência Artificial	UFJF	Mestrado Profissional em Ensino de Biologia	Sudeste/MG	M

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Ao detalhar a origem institucional dos trabalhos, a análise do Quadro 1 revela uma clara concentração geográfica e acadêmica das pesquisas na área. É possível notar a predominância de universidades localizadas nas regiões Sudeste (UNICAMP, UERJ e UFJF), Sul (UFRGS) e Centro-Oeste (UnB). Esse cenário indica a existência de importantes polos de desenvolvimento em tecnologia educacional nessas localidades. Nesse contexto, a Universidade de Brasília (UnB) e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) ganham destaque por apresentarem duas produções cada uma. Tal resultado sinaliza a consolidação de grupos de pesquisa dedicados especificamente ao estudo dessa temática.

A diversidade dos programas de pós-graduação evidencia o caráter interdisciplinar desse campo de estudo. Ao englobar áreas que variam da Informática na Educação e Ciências Computacionais até o Ensino de Biologia e Biologia Funcional, essa pluralidade atrai pesquisadores de diferentes formações acadêmicas, todos interessados em solucionar os atuais desafios pedagógicos.

A partir da distribuição cronológica dos sete estudos selecionados, que abrange o período de 2007 a 2024, é possível acompanhar a evolução tecnológica da área e identificar uma significativa disparidade de gênero. Para fins de análise, considerou-se como autoria principal a identidade do discente pesquisador, responsável titular pela tese ou dissertação. Sob esse critério, nota-se que apenas o trabalho pioneiro, desenvolvido por Verdin (2007), foi conduzido por uma pesquisadora. Esse resultado evidencia uma forte assimetria na amostra, com um total de seis produções masculinas contra apenas uma feminina.

O cenário encontrado corrobora os achados de Gonçalves *et al.* (2022) a respeito da atuação profissional e acadêmica nas áreas representadas pela sigla STEM, termo em inglês que agrupa as disciplinas de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática. De acordo com os autores, esses campos permanecem como espaços de baixa presença feminina, marcados por preconceitos sistêmicos e velados, o que impõe às mulheres cientistas uma luta contínua por visibilidade e respeito na academia. Essa disparidade se torna ainda mais evidente em disciplinas que demandam forte interconexão com a computação, a modelagem e o desenvolvimento de sistemas complexos IA. Historicamente, a racionalidade técnica das profissões STEM foi associada a atributos culturais masculinos. Conforme

alertam Gonçalves *et al.* (2022) e Cardoso, Barreto e Frota (2026), essa construção estrutural ainda é a principal responsável por afastar meninas e jovens mulheres da busca por carreiras científicas e tecnológicas.

Entretanto, ao analisar a coordenação desses projetos e o perfil dos profissionais que supervisionaram o desenvolvimento dos sistemas, um cenário diferente se revela. Em contraste com a baixa autoria discente feminina, os registros evidenciam uma expressiva liderança intelectual de mulheres na condução dessas pesquisas de vanguarda tecnológica. Como exemplo prático dessa realidade, constatou-se que as doutoras Rosa Maria Vicari e Margarete Axt atuaram, respectivamente, como orientadora e coorientadora do estudo pioneiro de Verdin (2007). Na pesquisa de Figueiredo (2012), a orientação principal foi conduzida pela doutora Rosa Maria Esteves Moreira da Costa, com o suporte da pesquisadora Vera Maria Benjamim Werneck na coorientação. Tais dados demonstram que as cientistas exercem posições estratégicas de liderança na academia. Ao assumirem a coordenação de redes complexas de informática educacional e estruturarem projetos de alto impacto, essas mulheres reforçam a importância de sua atuação no avanço científico e tecnológico do país.

Para complementar a caracterização institucional e geográfica apresentada anteriormente, o Quadro 2 sintetiza os elementos centrais de cada estudo. Esse recurso detalha o domínio da Biologia abordado, as metodologias de pesquisa empregadas e as tecnologias computacionais ou de IA utilizadas pelos autores. A partir dessa estruturação, os dados apresentados fornecem a base empírica necessária para o avanço da análise. Dessa forma, torna-se possível conduzir uma discussão mais aprofundada sobre a maturidade metodológica e o rigor investigativo da área nas seções subsequentes.

### **Quadro 2 – Caracterização Metodológica e Tecnológica das Pesquisas**

<b>Autor(a)/ Ano</b>	<b>Metodologia da Pesquisa</b>	<b>Público-alvo</b>	<b>Tipo de IA Utilizada</b>	<b>Área da Biologia</b>
Verdin (2007)	Quase-experimental	Alunos de graduação em Biotecnologias	Agente Mediador (MAE), Sistema Fuzzy, Agente Pedagógico Animado (PAT)	Anatomia Vegetal
Santos	Desenvolvimento de	Alunos de	Redes Neurais	Neurofisiologi

(2009)	software, validação com estudantes	graduação (Saúde e Ciências Biológicas)	Artificiais, Autômatos Finitos	a
Figueiredo (2012)	Desenvolvimento de software, teste de usabilidade	Alunos do Ensino Fundamental e Médio	Sistemas Multiagentes (SMA), Swarm Intelligence	Ecologia de Populações
Cavalcante (2015)	Estudo de caso, experimental (pré/pós-teste)	Alunos do 8º ano do Ensino Fundamental	Agentes Aprendizes Virtuais ( <i>Teachable Agents</i> )	Fisiologia Humana, Ecologia
Souza (2019)	Pesquisa Participante, quali-quantitativa	Alunos do 1º ano do Ensino Médio	Raciocínio Qualitativo (RQ)	Ecologia, Ciclos Biogeoquímicos
Moreira (2022)	Pesquisa qualitativa (Grupo Focal), análise de metadados	Alunos do 1º ano do Ensino Médio	<i>Chatbot</i> (Agente Conversacional)	Metodologia Científica, Ecologia, Citologia
Pereira (2024)	Desenvolvimento de produto educacional, análise de <i>logs</i>	Alunos do 2º ano do Ensino Médio	<i>Chatbot</i> (Agente Conversacional)	Fisiologia Humana

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

O Quadro 2 ilustra a expressiva diversidade metodológica e tecnológica empregada nos estudos analisados. As metodologias de pesquisa variam desde abordagens quase-experimentais e estudos de caso (Verdin, 2007; Cavalcante, 2015) até o desenvolvimento de produtos educacionais e pesquisas participantes (Souza, 2019; Pereira, 2024). Essa pluralidade de caminhos reflete a maturidade do campo ao aplicar diferentes perspectivas investigativas para analisar o mesmo fenômeno. Em relação ao público-alvo, a amostra também se revela bastante abrangente. Os projetos envolvem desde estudantes do Ensino Fundamental até alunos de graduação e profissionais em cursos de formação de professores. Essa variedade comprova a ampla aplicabilidade das ferramentas de IA nos mais diversos níveis e contextos educacionais.

No aspecto tecnológico, o cenário indica uma clara linha evolutiva ao longo dos anos. No início do período avaliado, os sistemas baseavam-se em lógica *fuzzy* e em agentes pedagógicos virtuais (Verdin, 2007). Em seguida, a área avançou para o uso de redes neurais e sistemas multiagentes (Santos, 2009; Figueiredo, 2012). Atualmente, os trabalhos mais recentes exploram os recursos dos chatbots e da IA generativa (Moreira, 2022; Pereira, 2024). Por fim, a amplitude temática constitui outro ponto de destaque. As aplicações desenvolvidas cobrem áreas variadas do

conhecimento, incluindo citologia, neurofisiologia e ecologia (Santos, 2009; Figueiredo, 2012; Cavalcante, 2015; Souza, 2019; Moreira, 2022). Tais resultados evidenciam a versatilidade da IA na hora de abordar a enorme complexidade dos diferentes ramos da Biologia.

De forma mais detalhada, a organização cronológica dos dados permite visualizar uma clara trajetória de evolução tecnológica e pedagógica na área. O percurso inicia-se com sistemas focados em aspectos psicológicos da aprendizagem, como a autoeficácia do aluno. Nesses primeiros estudos, a interação era mediada por agentes virtuais e sistemas *fuzzy* (Verdin, 2007). Essa técnica de IA possibilita o tratamento de informações imprecisas ao classificá-las em categorias amplas, como “baixo”, “médio” ou “alto”. Esse tipo de abordagem encontra forte fundamentação na psicologia social cognitiva. Como demonstra a pesquisa de Verdin (2007), a escolha por esse modelo evidencia uma preocupação precoce em utilizar a IA com propósitos que vão além da simples transmissão de conteúdo. O objetivo principal, desde aquele momento, já era aplicar a tecnologia para modular e apoiar a dimensão afetiva do processo de aprendizagem.

Com o avanço para o final da década de 2000 e o início dos anos 2010, observa-se uma forte inclinação das pesquisas para o uso de simulações complexas. Nesse cenário, o estudo de Santos (2009) emprega as Redes Neurais Artificiais para desenvolver um modelo sofisticado sobre a neurofisiologia da dependência de drogas. Essa abordagem da IA imita o funcionamento do cérebro humano, com o intuito de adquirir conhecimento por meio da experiência e do reconhecimento de padrões. Por sua vez, a pesquisa de Figueiredo (2012) recorre aos SMA para simular a dinâmica estrutural de uma colmeia. Esse ramo específico da IA recria o comportamento de ecossistemas complexos a partir da interação contínua entre múltiplos agentes autônomos. Em comum, ambos os trabalhos utilizam a tecnologia computacional para tornar visíveis e manipuláveis diversos fenômenos biológicos que, por sua própria natureza, são abstratos ou de difícil observação direta.

A partir de meados da década de 2010, uma nova vertente de pesquisa ganha destaque, com foco na modelagem conceitual e no desenvolvimento do pensamento sistêmico. Nesse cenário, os estudos de Cavalcante (2015) e Souza

(2019) passam a utilizar o RQ com o objetivo de permitir que os próprios alunos construam modelos sobre os sistemas ecológicos e fisiológicos. Conforme explica Souza (2019), essa subárea da IA dedica-se a representar o conhecimento sobre o mundo físico de forma puramente conceitual, o que dispensa a exigência de equações numéricas complexas em sala de aula. Na prática, toda essa estruturação tecnológica consolida a abordagem denominada *Learning by Modelling* (aprendizagem por modelagem), responsável por promover uma expressiva mudança de paradigma educacional. A partir do uso dessa metodologia, o estudante deixa de atuar como um mero espectador das simulações computacionais e assume a posição ativa de construtor do seu próprio conhecimento.

Finalmente, os trabalhos mais recentes (Moreira, 2022; Pereira, 2024) refletem a expressiva ascensão da IA conversacional. Nesse contexto, os *chatbots* passam a ser desenvolvidos e implementados para atuarem como mediadores, tutores e ferramentas de apoio em metodologias ativas, a exemplo da Sala de Aula Invertida e da Resolução de Problemas (MRP). Conforme define Moreira (2022), essas ferramentas consistem em sistemas de diálogo capazes de simular uma conversa humana. A aplicação prática desses recursos evidencia uma tendência crescente de integrar a tecnologia de forma mais fluida e dialógica ao cotidiano escolar. Toda essa trajetória evolutiva, que transita do modelo afetivo para o pensamento sistêmico até alcançar o formato conversacional, será detalhada nas discussões a seguir.

A análise aprofundada dos sete trabalhos selecionados permitiu a identificação de temas recorrentes e de contribuições significativas para a área. Seguindo os princípios da Análise de Conteúdo propostos por Bardin (2011), esses elementos foram agrupados em três categorias centrais. Tais divisões refletem os principais papéis que a Inteligência Artificial (IA) tem desempenhado no ensino de Biologia, de acordo com a produção acadêmica avaliada: (1) Ferramenta para Modelagem e Simulação de Sistemas Complexos; (2) Andaime Afetivo e Motivacional; e (3) Mediadora do Processo Educativo. A fim de estruturar essas informações de maneira clara e objetiva, o Quadro 3 sintetiza os resultados da referida análise. Para cada uma das pesquisas, esse recurso detalha o objetivo principal, as contribuições mais relevantes para o campo investigado e a respectiva

classificação do estudo dentro das três categorias previamente estabelecidas.

**Quadro 3 – Síntese dos Objetivos, Contribuições e Classificação das Pesquisas**

<b>Autor(a)/Ano</b>	<b>Objetivo Principal</b>	<b>Principais Contribuições</b>	<b>Classificação</b>
Verdin (2007)	Verificar se as táticas de <i>feedback</i> do sistema computacional <i>IntelliWeb</i> , baseadas na proposta pedagógica de Bandura, atuam sobre as crenças de Auto-Eficácia do aprendiz em um ambiente virtual.	Utiliza agentes computacionais para inferir o nível de autoeficácia do aluno e fornecer <i>feedback</i> afetivo personalizado, com o objetivo de modular as crenças do aprendiz e promover a motivação.	(2) Andaime Afetivo e Motivacional; (3) Mediadora do Processo Educativo
Santos (2009)	Desenvolver um modelo dinâmico computacional de dependência de drogas, baseado em redes neurais artificiais, e avaliar sua eficácia como instrumento pedagógico em aulas de neurofisiologia.	Cria um “paciente virtual” por meio de Redes Neurais Artificiais para simular a dependência de drogas, permitindo a experimentação virtual de cenários de tratamento e reduzindo a abstração de conceitos neurofisiológicos complexos.	(1) Ferramenta para Modelagem e Simulação de Sistemas Complexos
Figueiredo (2012)	Apresentar um ambiente de simulação e aprendizagem (Sim-Colmeia) do crescimento populacional de uma sociedade de abelhas, utilizando uma abordagem de Sistemas Multiagentes (SMA) e Realidade Virtual (RV).	Desenvolve um ambiente que simula a dinâmica populacional de uma colmeia usando Sistemas Multiagentes, permitindo aos alunos manipular variáveis ambientais e observar o comportamento emergente do sistema. Integra Realidade Virtual para tornar a experiência mais lúdica e interativa.	(1) Ferramenta para Modelagem e Simulação de Sistemas Complexos; (2) Andaime Afetivo e Motivacional
Cavalcante (2015)	Formular e apresentar uma proposta de intervenção pedagógica baseada no uso da modelagem qualitativa, apoiada por agentes aprendizes virtuais (Teachable Agents), como ferramenta para facilitar a compreensão da dinâmica de sistemas por alunos do Ensino Fundamental.	Propõe uma intervenção que combina modelagem por Raciocínio Qualitativo (facilitando a compreensão de sistemas complexos) com Agentes Aprendizes Virtuais (aumentando a motivação através do paradigma “aprender ensinando”) e um agente avaliador que medeia o processo de aprendizagem com <i>feedback</i> diagnóstico.	(1) Ferramenta para Modelagem e Simulação de Sistemas Complexos; (2) Andaime Afetivo e Motivacional; (3) Mediadora do Processo Educativo
Souza (2019)	Elaborar e utilizar modelos qualitativos de simulação para construir materiais didáticos e demonstrar que estudantes da educação básica são capazes de compreender fenômenos complexos e desenvolver	Demonstra que a modelagem qualitativa é uma ferramenta eficaz para a construção de materiais didáticos que permitem a estudantes da educação básica compreender fenômenos complexos e desenvolver o pensamento	(1) Ferramenta para Modelagem e Simulação de Sistemas Complexos; (3) Mediadora do Processo Educativo

	uma visão sistêmica a partir da exploração desses modelos.	sistêmico, sem a necessidade de formalismo matemático.	
Moreira (2022)	Apresentar os chatbots e a IA como ferramentas pedagógicas da terceira geração da web, implementando um agente conversacional em um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) de Biologia e avaliando seu uso.	Implementa um agente conversacional (chatbot) que funciona como um “professor 24 horas”, mediando o acesso ao suporte de forma assíncrona. A humanização da linguagem do chatbot atua como um andaime afetivo, criando um vínculo de confiança com o aluno.	(2) Andaime Afetivo e Motivacional; (3) Mediadora do Processo Educativo
Pereira (2024)	Explorar a integração da inteligência artificial, através da implementação de chatbots, como uma ferramenta inovadora para o ensino de Biologia através da Metodologia de Resolução de Problemas (MRP).	Implementa um chatbot (BIA) que atua como um mediador do processo de investigação científica, guiando os alunos através da Metodologia de Resolução de Problemas (MRP) com perguntas secundárias em vez de respostas diretas, fomentando o pensamento crítico.	(3) Mediadora do Processo Educativo

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A estruturação metodológica das categorias fundamenta-se nos princípios da Análise de Conteúdo propostos por Bardin (2011). Esse percurso analítico teve início com a leitura flutuante do material. Durante essa fase preliminar, foi possível identificar as unidades de significado basilares presentes nos objetivos e nas principais contribuições dos sete estudos selecionados. A partir da interpretação e da convergência temática dessas unidades, os dados foram agrupados em três categorias analíticas centrais. De forma conjunta, essas divisões sintetizam os múltiplos papéis pedagógicos desempenhados pela IA no ensino de Biologia. Nas discussões a seguir, detalham-se as fundamentações lógicas de cada eixo categorial, bem como a maneira como as intervenções específicas das pesquisas analisadas se alinham a essas classificações.

## Ferramenta para Modelagem e Simulação de Sistemas Complexos

A categoria denominada “Ferramentas para Modelagem e Simulação de

Sistemas Complexos” surge da urgência em abordar os fenômenos sistêmicos, dinâmicos e multifatoriais inerentes ao ensino de Biologia. Nesse cenário, uma das contribuições mais expressivas da IA é a capacidade de gerar ambientes virtuais com possibilidades de atuação quase ilimitadas. Por meio desses recursos, os estudantes podem modelar, manipular e simular sistemas biológicos de extrema complexidade (Santos, 2009). Essa perspectiva encontra forte respaldo na literatura acadêmica dedicada às tecnologias educacionais. As pesquisas da área apontam que a experimentação em espaços imersivos, impulsionada por simuladores avançados, transforma conceitos teóricos e materiais didáticos estáticos em componentes altamente interativos (Figueiredo, 2012; Cavalcante, 2015). Como resultado, essa dinâmica computacional enriquece de forma expressiva a qualidade da transposição didática conduzida pelo docente. Além disso, o uso dessas tecnologias engaja o aluno, permitindo que ele atue como sujeito ativo na construção da sua própria aprendizagem.

Esses sistemas, caracterizados por interações não lineares e múltiplos componentes, são difíceis de serem compreendidos apenas por meio de explicações textuais (Souza, 2019). Nesse cenário, a IA é instrumentalizada para construir laboratórios virtuais interativos. Essa aplicação supera as limitações representacionais dos materiais estáticos, uma vez que transpõe a complexidade teórica para uma prática visual e manipulável. Em ambientes virtuais desse tipo, os alunos podem observar os fenômenos, alterar variáveis e testar hipóteses de forma segura e repetível (Santos, 2009).

Inicialmente, a literatura revela o uso da IA sobretudo como uma ferramenta de demonstração, na qual o estudante atua como experimentador diante de uma representação fiel da realidade. Um exemplo claro dessa aplicação reside no trabalho de Santos (2009), que evidencia o potencial das Redes Neurais Artificiais para reproduzir reações neurofisiológicas microscópicas. Ao desenvolver o software Prometheus, o autor disponibilizou um simulador focado na dependência química. O programa cria um paciente virtual e permite ao aluno visualizar processos abstratos, como a tolerância e a compulsão, além de testar intervenções de tratamento. Na mesma direção investigativa, mas em escala ecológica, Figueiredo (2012) utiliza SMA no ambiente Sim-Colmeia. Essa ferramenta permite que o discente manipule

variáveis ambientais, como o clima e a disponibilidade de flores, com o intuito de compreender o comportamento de uma colônia de abelhas gerado a partir da interação autônoma dos indivíduos.

Posteriormente, observa-se uma transição na aplicação pedagógica da IA, que avança para uma abordagem construtivista denominada *Learning by Modelling* (aprendizagem por modelagem). Nesse sentido, os trabalhos de Cavalcante (2015) e Souza (2019) propõem estratégias alicerçadas no RQ. Fundamentado na Teoria Qualitativa dos Processos de Kenneth Forbus, esse método representa o conhecimento sobre o mundo físico com foco nas relações causais entre as grandezas, sem a exigência de cálculos matemáticos rigorosos ou de equações numéricas (Salles; Bredeweg, 2006).

Por meio de softwares como o DynaLearn, os próprios alunos assumem o papel de construtores de modelos sobre os sistemas biológicos, a exemplo das doenças do sistema circulatório ou do ciclo da água. Ao definir entidades, quantidades e influências positivas ou negativas, o estudante explicita o seu raciocínio causal. A partir disso, a IA atua simulando o comportamento do sistema com base no modelo criado e fornece um retorno imediato sobre as suas implicações (Souza, 2019). Essa abordagem incentiva o pensamento sistêmico e a compreensão dos mecanismos de retroalimentação, em alinhamento aos princípios da Dinâmica de Sistemas (Forrester, 2009). Nesse contexto educacional, o erro torna-se uma poderosa ferramenta de aprendizagem, uma vez que as simulações inconsistentes levam o aluno a revisar e a refinar continuamente o seu próprio modelo mental sobre o fenômeno investigado.

### **Andaime Afetivo e Motivacional**

A categoria denominada “Andaime Afetivo e Motivacional” fundamenta-se na premissa de que o processo de aprendizagem transcende a dimensão estritamente cognitiva. A literatura da área revela uma preocupação constante com o impacto da IA na dimensão afetiva, o que engloba o engajamento, a motivação, a segurança emocional e a autoeficácia do aprendiz. Esse agrupamento reúne intervenções focadas em promover a persistência e em mitigar a ansiedade escolar diante do

erro. Para alcançar tais objetivos, estratégias como a personificação, a gamificação, o uso de recursos lúdicos e a aplicação de uma linguagem empática assumem um papel central.

Nesse contexto, a operacionalização de suportes emocionais por meio de sistemas computacionais revela-se uma ferramenta importante para combater a desmotivação experimentada por discentes em disciplinas complexas, a exemplo da Biologia Funcional e da Genética. O trabalho de Verdin (2007) atua como base nessa discussão, pois representa um esforço pioneiro para operacionalizar a autoeficácia, conceito definido por Bandura (1997) como a crença do indivíduo em sua própria capacidade. No ambiente virtual InteliWeb, um agente mediador infere o nível de autoeficácia do aluno a partir de comportamentos como o esforço e a persistência. Com base nessa avaliação, um agente pedagógico animado fornece mensagens de retorno personalizadas na tentativa de fortalecer a confiança do estudante. Contudo, ao contrário do esperado, os resultados da pesquisa apontaram que a estratégia computacional não apresentou força suficiente para modificar de fato a percepção dos aprendizes, a qual se manteve inalterada ao final das tarefas. Esse dado evidencia a grande complexidade de intervir nas variáveis afetivas, bem como a necessidade de aprimorar os modelos virtuais de engajamento cognitivo.

Por outro lado, a mitigação do medo de errar e da ansiedade ganha destaque na pesquisa de Cavalcante (2015), que integra a dimensão afetiva ao utilizar agentes virtuais. Nessa dinâmica, fundamentada na premissa de aprender ensinando, o aluno assume o papel de tutor de uma mascote digital e constrói um modelo qualitativo sobre um determinado sistema biológico. O engajamento é impulsionado pelo desejo do estudante de ver o seu agente apresentar um bom desempenho nas avaliações. Ao atribuir os erros à mascote e não a si mesmo, a pressão psicológica é deslocada. Como resultado, a correção de falhas transforma-se em uma tarefa motivadora focada em auxiliar o personagem a aprender de forma mais eficiente.

De maneira complementar, o estudo de Figueiredo (2012) aborda o viés motivacional ao integrar os recursos lúdicos da Realidade Virtual (RV), o que torna a experiência de simulação gráfica e sensorialmente mais atrativa. Aspectos voltados à humanização e à manutenção do vínculo afetivo com o aluno também orientam o

uso de assistentes conversacionais. Seguindo essa linha, a pesquisa de Moreira (2022) emprega uma linguagem empática e com traços humanos em seu *chatbot*. O objetivo é criar laços de confiança durante o processo de ensino e evitar que o estudante se sinta isolado no ambiente virtual. Por fim, os dados evidenciam que a motivação não é apenas um subproduto do uso da tecnologia, mas sim um objetivo de planejamento que deve ser ativamente buscado.

### **Mediadora do Processo Educativo**

A categoria denominada “Mediadora do Processo Educativo” surge da constatação de que a IA evoluiu de uma ferramenta de mera exposição tecnológica para atuar ativamente como uma facilitadora dialógica. Essa mudança é impulsionada pela ascensão da IA conversacional, presente em assistentes virtuais e chatbots. Na prática, esses recursos substituem o uso de interfaces gráficas complexas pelo diálogo em linguagem natural. Todo esse processo torna a tecnologia mais acessível e a integra de forma eficiente às práticas e rotinas cotidianas de estudo dos alunos.

Esse agrupamento reúne pesquisas cujas ferramentas expandem o alcance docente por meio da mediação reflexiva e do acompanhamento individualizado. O estudo de Moreira (2022) destaca a implementação do *chatbot* “Luke The Bot” em um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA). O objetivo da iniciativa é atuar como mediador e expandir o território escolar, conceito fundamentado nas ideias de Hardagh (2009). Ao funcionar de forma assíncrona, a ferramenta democratiza o acesso ao suporte extra escolar e responde a dúvidas frequentes a qualquer momento. A análise demonstrou uma taxa de utilidade crescente à medida que os estudantes incorporaram o *chatbot* em suas rotinas. Esse resultado evidencia que a IA pode funcionar como um assistente de ensino disponível de maneira contínua, estabelecendo uma facilitação dialógica que se integra e complementa o suporte pedagógico contínuo.

Além do suporte contínuo, a IA assume um papel diretivo no apoio às metodologias ativas. Pereira (2024) ilustra essa aplicação de forma clara ao integrar a *chatbot* BIA a uma Metodologia de Resolução de Problemas, abordagem

estruturada que remete aos passos delineados por Polya (1995). A ferramenta guia os estudantes pelas etapas de resolução de um caso clínico sobre hipertensão arterial. Para isso, o sistema utiliza questionamentos reflexivos, contextualização de materiais e estruturação do raciocínio, sempre sem entregar respostas prontas. Com essa dinâmica, o aluno mantém o protagonismo da investigação, enquanto a tecnologia atua como um andaime cognitivo que apoia o seu processo de pensamento.

Essa função de diagnóstico e mediação dialógica permeia diretamente os trabalhos de Verdin (2007), Cavalcante (2015) e Souza (2019). Nas referidas pesquisas, os modelos qualitativos e os agentes virtuais identificam lacunas conceituais e orientam os estudantes durante as atividades de modelagem. Caracterizada como uma abordagem investigativa que prioriza o questionamento em detrimento da entrega passiva de respostas, essa modalidade utiliza a tecnologia como um guia. A partir disso, a ferramenta provoca o aluno a refletir sobre o seu próprio raciocínio e a construir o conhecimento de forma autônoma, o que mitiga o risco de passividade intelectual ou de dependência cognitiva.

Em suma, a trajetória da IA nesses estudos aponta para uma redefinição essencial do papel da tecnologia no suporte ao trabalho docente. Diante do dilema contemporâneo de conciliar turmas numerosas com a necessidade de atendimento individualizado, essas ferramentas emergem como soluções escaláveis. Elas automatizam o suporte imediato, garantem que nenhuma dúvida básica fique sem resposta e coletam dados valiosos sobre as dificuldades das turmas. Com essas informações mapeadas, o professor obtém um panorama claro do aprendizado e pode atuar de maneira focada, investindo o seu tempo em interações pedagógicas de maior complexidade.

### **Limitações e Direções Futuras**

Apesar da evolução teórica e dos resultados positivos evidenciados nos trabalhos analisados, a avaliação da produção bibliográfica nacional revela algumas limitações estruturais e aponta direções necessárias para o amadurecimento da área. A primeira constatação indica que a maioria das pesquisas se restringe a

intervenções pontuais e de curta duração. Embora esses estudos comprovem a viabilidade técnica das ferramentas em recortes temporais breves ou módulos isolados, tais incursões empíricas carecem de acompanhamento longitudinal. A comunidade científica, portanto, necessita de avaliações capazes de medir a sustentabilidade do engajamento estudantil após o declínio do efeito da novidade tecnológica. Essa abordagem permitiria diagnosticar se os ganhos de autonomia intelectual persistem ao longo de um calendário acadêmico completo (Cavalcante, 2015; Moreira, 2022).

Adicionalmente, os obstáculos referentes à escalabilidade e à inserção sistêmica das tecnologias nas redes públicas figuram como barreiras significativas. O êxito dessas ferramentas ocorre, predominantemente, em microambientes controlados e conta com a tutoria presencial dos próprios pesquisadores. Esse cenário isolado mascara as dificuldades reais vivenciadas por escolas que não possuem infraestrutura tecnológica adequada. Além disso, oculta as vulnerabilidades de um corpo docente que, muitas vezes, não tem familiaridade com a lógica computacional ou algorítmica (Souza, 2019). Configura-se, desse modo, um expressivo distanciamento entre o sucesso do protótipo desenvolvido em laboratório e a sua aplicação prática e massificada nas instituições de ensino.

Essa vulnerabilidade operacional reflete-se em outro entrave sistêmico, identificado no trabalho de Moreira (2022): a baixa adesão às plataformas em ecossistemas de aprendizagem estritamente voluntários e não avaliativos. Constatou-se que a sofisticação da modelagem tecnológica não atua como garantia automática de assiduidade por parte dos alunos. A simples disponibilização do recurso digital, quando desprovida de integração curricular e de vínculo com as avaliações regulares, resulta em um engajamento insatisfatório. Esse fator comprova que o uso da tecnologia perde o seu alcance e a sua eficácia caso não esteja atrelado a uma intencionalidade institucional clara.

Diante desse cenário, a agenda para as futuras pesquisas orienta-se para o fomento de estudos longitudinais exaustivos e para a reestruturação dos programas de formação de professores. Para que a adoção dessas ferramentas seja efetiva, é essencial que a capacitação docente ultrapasse o mero treinamento técnico focado em softwares e avance para a apropriação profunda do design instrucional auxiliado

por máquina. Enfatiza-se, também, a urgência de investigar o campo da IA Generativa. Por fim, explorar a intersecção entre os modelos de linguagem avançados e a automação da tutoria interativa apresenta-se como um caminho promissor para reconfigurar e potencializar o ensino de Biologia (Vasconcelos; Frota, 2025).

## **Conclusões**

A revisão da produção acadêmica brasileira de teses e dissertações evidencia uma trajetória de notável amadurecimento epistemológico no uso da Inteligência Artificial como ferramenta pedagógica no ensino de Biologia. O percurso temporal avaliado inicia-se com algoritmos concentrados na provisão de suporte afetivo para mitigar a ansiedade escolar e avança para o uso de simulações biológicas complexas, plataformas de modelagem construtivista e implantação de agentes conversacionais responsivos. Esse cenário demonstra a crescente sofisticação tecnológica das intervenções operadas nas universidades do país.

Cumprе ressaltar o forte alinhamento que o conjunto das obras examinadas estabelece com a recente literatura nacional da área de letramento tecnológico. Os achados demonstram que a IA se consolida nos ambientes educacionais brasileiros sob uma perspectiva humanista e de emancipação cognitiva. Fica evidente que os sistemas computacionais desenvolvidos e aplicados nos estudos não objetivam a substituição do trabalho docente. Pelo contrário, a IA é abordada como uma parceira estratégica, atuando de maneira contínua como suporte para o ensino e para a segurança intelectual do aprendiz. Nessa perspectiva pedagógica, a automação liberta o discente da sobrecarga dos cálculos repetitivos e permite a sua imersão nos fundamentos da investigação científica e na compreensão das interdependências biológicas. Essa dinâmica reafirma a premissa de que a agência central do processo de aprendizagem pertence exclusivamente ao estudante. Ainda assim, a pesquisa aponta que desafios estruturais continuam a exigir atenção do campo científico, com destaque para a sustentabilidade sistêmica das soluções, a necessidade de capacitação tecnológica continuada para os professores e o combate à evasão escolar em plataformas digitais não obrigatórias.

O futuro da Inteligência Artificial no ensino de Biologia no Brasil apresenta-se promissor. Embora a formulação de previsões definitivas baseadas apenas no atual recorte de pesquisas exija prudência metodológica, a análise desses resultados permite apontar tendências sólidas. Uma das principais direções é a crescente difusão de sistemas computacionais ubíquos e dialógicos. Nesse cenário, o avanço da Inteligência Artificial Generativa fornecerá o suporte tecnológico necessário para que os próprios professores elaborem repositórios e materiais didáticos altamente flexíveis, transdisciplinares e interativos. Essa integração atua de forma direta para superar a rigidez dos currículos tradicionais das ciências exatas e naturais, democratizando a criação de soluções educacionais inovadoras. Todavia, o êxito contínuo dessa transformação estrutural depende estritamente do olhar crítico do educador, o qual deve guiar a aquisição do conhecimento de forma ética e reflexiva diante das inovações tecnológicas do século XXI. Para que esse potencial se concretize em melhorias efetivas na aprendizagem, é fundamental que a pesquisa continue a avançar de mãos dadas com a prática pedagógica, mantendo o foco no desenvolvimento integral do aluno e na valorização do papel insubstituível do professor como mediador e arquiteto de experiências de aprendizagem significativas.

## **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

El presente trabajo fue realizado con el apoyo de la Coordinación de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiación 001.

## **Referências**

BANDURA, A. **Self-efficacy**: the exercise of control. New York: W. H. Freeman,

1997.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BEZERRA, C. S. *et al.* A utilização de modelos como recursos didáticos no ensino de Biologia para jovens e adultos. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE E NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 3., 2008, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: IFCE, 2008.

BORGES, M. R. S.; BORGES, J. A.; BARANAUSKAS, M. C. C. O papel do computador no processo de aprendizado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 5., 1995, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: UFSC, 1995. v. 1, p. 151-160.

CAVALCANTE, T. F. **Avaliação do uso de modelagem qualitativa com apoio de agentes aprendizes virtuais na compreensão da dinâmica de sistemas**. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/20306>. Acesso em: 29 dez. 2025.

CHOU, Yu-Kai. **Actionable gamification: beyond points, badges, and leaderboards**. Fremont: Octalysis Media, 2021.

FIGUEIREDO, J. E. M. de. **Sim-Colmeia: ambiente de simulação da dinâmica de uma colmeia para o ensino de Biologia**. 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Computacionais) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://www.btd.uerj.br:8443/handle/1/7681>. Acesso em: 29 dez. 2025.

FORBUS, K. D. Qualitative process theory. **Artificial Intelligence**, Amsterdam, v. 24, n. 1-3, p. 85-168, 1984.

FORRESTER, J. W. Learning through system dynamics as preparation for the 21st century. In: FORRESTER, J. W. (ed.). **System dynamics**. Waltham: Pegasus Communications, 2009. p. 1-16.

FRENCH, R. M.; THOMAS, M. S. C. Pseudopatterns and dual-network memory models: advantages and shortcomings. **Connectionist Models of Learning, Development and Evolution**, p. 13 a 22, 2001.

GARCÍA, R. **O conhecimento em construção: das formulações de Jean Piaget à teoria de sistemas complexos**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas,

2008.

GONÇALVES, B. M. V.; SILVA, P. A. da; GONÇALVES, B. M. V.; FROTA, D. A.; CARDOSO, M. B. Mulheres na Ciência E Matemática: o que Dizem as Teses e Dissertações. **Jornal Internacional De Estudos Em Educação Matemática**, v. 15, n. 3, p. 364 a 372, 2023.

KAPP, K. M. **The gamification of learning and instruction**: game-based methods and strategies for training and education. San Francisco: Pfeiffer, 2012.

MOREIRA, L. de A. **Uso de chatbot em ambientes virtuais de aprendizagem no ensino de Biologia**. 2022. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Biologia) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1253217>. Acesso em: 29 dez. 2025.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de ecologia**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.

PAPERT, S. **A máquina das crianças: repensando a escola na era da informática**. Porto Alegre, RS: Artes Médicas, 2008

PEREIRA, A. S. T.; SAMPAIO, F. F. Avitae: desenvolvimento de um ambiente de modelagem computacional para o ensino de Biologia. **Ciências & Cognição**, v. 13, n. 2, p. 51-70, 2008.

PEREIRA, G. J. **O ensino de Biologia através da resolução de problemas usando Inteligência Artificial**. 2024. 130 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Biologia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Governador Valadares, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/16803>. Acesso em: 29 dez. 2025.

PIAGET, J. **Para onde vai a educação?** 5. ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1977.

POLYA, G. **A arte de resolver problemas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1995.

ROMANOWSKI, J. P.; ENS, R. T. As pesquisas denominadas do tipo “estado da arte” em educação. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 6, n. 19, p. 37-50, 2006.

SALLES, P. S. B. A.; BREDEWEG, B. Modelagem qualitativa: uma alternativa para o ensino de fenômenos complexos. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 17., 2006, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: SBIE, 2006. p. 109-118.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para

síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83-89, jan./fev. 2007.

SANTOS, G. **Simulação dinâmica computacional de dependência de drogas por meio de redes neurais artificiais**: uma abordagem sintética. 2009. 123 f. Tese (Doutorado em Biologia Funcional e Molecular) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/767415>. Acesso em: 29 dez. 2025.

SOUZA, P. V. T. de. **Modelos de simulação qualitativos como estratégia para o ensino de Ciências**. 2019. 250 f. Tese (Doutorado em Educação em Ciências) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/39289>. Acesso em: 29 dez. 2025.

VALENTE, J. A. Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida. **Educar em Revista**, Curitiba, ed. esp. 4, p. 79-97, 2014.

VERDIN, R. **Análise exploratória sobre a relação das táticas de feedback e auto-eficácia do aprendiz em um ambiente virtual de aprendizagem**. 2007. 72 f. Tese (Doutorado em Informática na Educação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/98633>. Acesso em: 29 dez. 2025.

WEISER, M. The Computer for the 21st Century. **Mobile Computing and Communications Review** – Special issue dedicated to Mark Weiser, v. 3, n. 3, p. 3-11, 1999.

WEISS, M. C. Sociedade sensoriada – a sociedade da transformação digital. **Estudos Avançados**, v. 33, n. 95, 2019.

Submetido em 29 de janeiro de 2026.

Aceito em 03 de junho de 2026.

Publicado em 15 de junho de 2026.