



“EM QUE POSSO AJUDAR?”: UMA REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE AS IMPLICAÇÕES DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA A FORMAÇÃO ÉTICA NAS ENGENHARIAS

"HOW CAN I HELP?": AN INTEGRATIVE REVIEW ON THE IMPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR ETHICAL EDUCATION IN ENGINEERING

Pedro Bruno Silva Lemos¹, Anderson de Castro Lima², Camila Raquel Câmara Limar³, Sandro César Silveira Jucá⁴, Solonildo Almeida da Silva⁵

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v45p467-486.2026

RESUMO: O avanço exponencial da Inteligência Artificial (IA) tem produzido transformações em diversos setores da sociedade. Nesse contexto, este artigo objetiva analisar, por meio de revisão integrativa da literatura, os impactos da IA na formação ética e na atuação profissional de engenheiros. A pesquisa baseou-se na síntese de 15 artigos e trabalhos publicados em anais de eventos internacionais. Os resultados indicam que a ascensão da IA impõe a necessidade de uma reavaliação da formação ética nas engenharias, tanto no âmbito acadêmico quanto na prática profissional. A literatura aponta que sistemas baseados em IA introduzem lacunas de responsabilização legal e semântica que tensionam as estruturas normativas tradicionais. Evidencia-se que a IA pode ser incorporada como ferramenta didática, por meio do raciocínio baseado em casos e de processos de deliberação estruturada. Conclui-se que a IA requer a ampliação do escopo formativo nas engenharias para além das competências técnicas e a reflexão crítica sobre os impactos ambientais, sociais, políticos e psicológicos do desenvolvimento tecnológico.

PALAVRAS-CHAVE: formação ética; Inteligência Artificial; Ensino de Engenharia; impactos sociotécnicos.

ABSTRACT: The exponential advancement of Artificial Intelligence (AI) has produced transformations in various sectors of society. In this context, this article aims to analyze, through an integrative literature review, the impacts of AI on the ethical training and professional practice of engineers. The research was based on a synthesis of 15 articles and papers published in the proceedings of international events. The results indicate that the rise of AI imposes the need for a reassessment of ethical training in engineering, both in the academic sphere and in professional practice. The literature points out that AI-based systems introduce gaps in legal and semantic accountability that strain traditional normative structures. It is evident that AI can be incorporated as a didactic tool, through case-based reasoning and structured deliberation processes. It is concluded that AI requires the expansion of the formative scope in engineering beyond technical skills and critical reflection on the environmental, social, political, and psychological impacts of technological development.

KEYWORDS: ethical training; Artificial Intelligence; Engineering Education; socio-technical impacts.

¹ Doutor em Ensino, Técnico Administrativo em Educação, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), pedrolemos@unilab.edu.br

² Doutor em Ensino Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), anderson@ifce.edu.br

³ Mestre em Modelagem e Métodos Quantitativos, Professora, Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), camara.lima@yahoo.com

⁴ Doutor em Engenharia Elétrica, Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), sandrojuca@ifce.edu.br

⁵ Doutor em Educação, Professor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), solonildo@ifce.edu.br



INTRODUÇÃO

Em que posso ajudar? A pergunta inicial se tornou a saudação característica das principais ferramentas de Inteligência Artificial (IA) generativa. A expressão representa a transição de uma inteligência artificial restrita a aplicações técnicas específicas para uma inteligência de uso geral, capaz de interagir linguisticamente, resolver problemas complexos e adaptar-se a múltiplos contextos de aprendizagem e trabalho. Ademais, ressalta-se que o avanço dos modelos generativos de larga escala (*Large Language Models* – LLMs) evidencia um salto no modo como a sociedade produz, distribui e valida o conhecimento.

A IA pode ser definida como a ciência e a engenharia de criar máquinas inteligentes, em especial programas de computador capazes de simular o comportamento, o raciocínio e as competências cognitivas humanas (Chen, Chen e Lin, 2020; Çayır, 2023). Ou seja, observa-se que os principais modelos de IA realizam tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana, como o aprendizado, o raciocínio e a adaptação (Chen, Chen e Lin, 2020; Çayır, 2023). Nesse sentido, frisa-se que o avanço exponencial da IA tem gerado impactos em praticamente todos os setores da sociedade, incluindo indústria, saúde, ciência e economia, pois promove a automação de processos e a análise de vastos volumes de informação em uma escala sem precedentes (Lez'er *et al.*, 2019).

A paulatina e contínua ascensão da Inteligência Artificial (IA) e sua crescente inserção em múltiplas dimensões da vida humana têm sido acompanhadas por um debate ambivalente. De um lado, destaca-se o otimismo quanto às novas capacidades técnicas, à ampliação da eficiência operacional, à automação de tarefas complexas e à possibilidade de geração de soluções inovadoras (Lez'er *et al.*, 2019). De outro, emergem preocupações acerca dos desafios éticos, dos impactos sociotécnicos e dos potenciais riscos existenciais associados ao desenvolvimento e à aplicação dessas tecnologias (Lez'er *et al.*, 2019).

O tensionamento entre as mencionadas perspectivas revela que a IA necessita ser compreendida como um fenômeno tecnológico complexo que tem o potencial de reconfigurar estruturas de poder, relações de trabalho, critérios de responsabilidade e parâmetros de tomada de decisão. Nesse contexto, parte da literatura assevera a importância do deslocamento das discussões contemporâneas do plano exclusivamente funcional para a reflexão sobre questões relativas à justiça algorítmica, transparência, *accountability*, autonomia humana e governança tecnológica.



O setor educacional não está imune a essa transformação, pois tornou-se uma das áreas mais impactadas pelo uso de diferentes modelos de IA (Kengam, 2020). No entanto, cabe salientar que a aplicação da IA na educação é um campo de pesquisa com mais de três décadas de história e com uma perspectiva de crescimento exponencial nas próximas décadas (Chen, Chen e Lin, 2020). Além disso, destaca-se que as primeiras pesquisas sobre o uso de IA na educação abordavam o desenvolvimento de simples sistemas baseados em computador; porém, atualmente, examina-se a implementação de plataformas complexas centradas na utilização de *chatbots* e sistemas de tutoria inteligente (Chen, Chen e Lin, 2020).

No campo educacional, a incorporação da inteligência artificial tem impulsionado transformações paradigmáticas no modo como o ensino é concebido e mediado. A personalização de percursos formativos, o uso de tutores virtuais, a análise de dados de aprendizagem e o desenvolvimento de ambientes adaptativos configuram novas dinâmicas de ensino e avaliação. Kengam (2020) e Çayır (2023) especificam que as aplicações atuais de IA objetivam a adaptação dos currículos às necessidades e ao ritmo de cada estudante, além de propiciarem a automatização de tarefas administrativas, como a correção de avaliações e o preenchimento de sistemas de acompanhamento e gestão educacional.

Contudo, tais inovações também introduzem tensões éticas e epistemológicas relevantes, a saber: a dependência de sistemas automatizados pode reduzir a autonomia intelectual do estudante; a opacidade algorítmica dificulta a compreensão dos critérios de decisão; e a mediação tecnológica reconfigura a relação docente-discente, uma vez que o professor assume um papel adicional de mediador crítico do conhecimento.

No âmbito do Ensino de Engenharia, as transformações ocasionadas pela ascensão dos modelos de IA adquirem um caráter particularmente sensível. A formação do engenheiro, historicamente orientada pelo domínio de princípios científicos e tecnológicos, passa a demandar novas competências ligadas ao pensamento computacional, à análise crítica de dados e à compreensão dos impactos éticos e sociais das tecnologias emergentes.

A utilização de IA em disciplinas técnicas tem potencializado o aprendizado por meio de simulações, otimizações e modelagens (Hardebolle, Héder e Ramachandran, 2025; Lez'er *et al.*, 2019). No entanto, as novas tecnologias também levantam questões sobre a responsabilidade do profissional diante de decisões automatizadas, o risco de vieses algorítmicos e as implicações ambientais



e sociais das soluções projetadas (Hardebolle, Héder e Ramachandran, 2025; Lez'er *et al.*, 2019).

Por conseguinte, infere-se que a formação ética dos engenheiros constitui eixo estruturante para a sustentabilidade moral e social da profissão. O avanço da IA tem introduzido dilemas inéditos, marcados por elevada complexidade técnica e impactos sociotécnicos ampliados, que não podem ser enfrentados apenas por meio de códigos deontológicos ou de disciplinas isoladas de ética profissional. Pelo contrário, tais desafios demandam abordagens pedagógicas integradas e contínuas, capazes de promover o desenvolvimento do pensamento crítico, da responsabilidade reflexiva e da competência deliberativa diante de situações concretas mediadas pela tecnologia.

Apesar do crescente volume de publicações sobre ética em IA e sobre o uso de IA na educação em engenharias, a intersecção desses campos com a formação específica dos engenheiros contemporâneos permanece uma temática subexplorada. Por conseguinte, Hardebolle, Héder e Ramachandran (2025) revelam o número incipiente de trabalhos que abordam simultaneamente temáticas relacionadas à IA, à ética e à educação em engenharias.

Embora existam estudos que discutam os benefícios e os riscos gerais da Inteligência Artificial na educação (Kengam, 2020; Çayır, 2023), bem como a necessidade de formar engenheiros dotados de novas competências técnicas e socioemocionais (Lez'er *et al.*, 2019), identifica-se uma lacuna relevante na literatura: a escassez de revisões que examinem como o advento da IA impacta a formação ética e a atuação profissional dos engenheiros na contemporaneidade. Ante o cenário exposto, a presente pesquisa propõe-se a preencher tal lacuna por meio da síntese do estado da arte acerca dos desafios emergentes, das competências requeridas e das abordagens pedagógicas necessárias à formação de engenheiros ética e socialmente responsáveis na era da IA.

Para alcançar esse objetivo, o presente trabalho está estruturado em quatro seções. Após esta introdução, a seção de metodologia detalhará os procedimentos utilizados na seleção e análise dos artigos. A seção central, resultados e discussão, apresentará uma síntese analítica da literatura, organizada em quatro eixos temáticos: os fundamentos e desafios atuais da ética em IA; as implicações para a educação em engenharia, incluindo novas competências e horizontes filosóficos; as abordagens práticas para o design e a governança ética; e os estudos de caso que ilustram a aplicação desses dilemas em contextos setoriais e de fronteira. Por fim, as considerações finais resumirão as principais



conclusões, apontarão tendências e lacunas de pesquisa e sugerirão direções para trabalhos futuros.

METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão integrativa da literatura, modalidade de investigação que permite a síntese ampla e sistematizada do conhecimento produzido sobre determinado fenômeno, integrando diferentes abordagens metodológicas, marcos teóricos e perspectivas analíticas (Ercole, Melo e Alcoforado, 2014). Diferentemente da revisão sistemática, que se orienta por critérios rígidos de evidência empírica e avaliação quantitativa de qualidade metodológica, a revisão integrativa possibilita a articulação de estudos teóricos e empíricos, ensaios conceituais e análises críticas, favorecendo uma compreensão abrangente e interdisciplinar do objeto investigado (Ercole, Melo e Alcoforado, 2014).

A escolha pela revisão integrativa justifica-se pela natureza multifacetada do problema de pesquisa, que envolve dimensões éticas, pedagógicas, tecnológicas e profissionais vinculadas à incorporação da Inteligência Artificial na formação e na atuação do engenheiro contemporâneo. Trata-se de um campo em consolidação, marcado por abordagens teóricas diversas e por significativa dispersão conceitual, o que exige um método capaz de integrar contribuições heterogêneas e identificar convergências, lacunas e tendências emergentes.

O percurso metodológico foi estruturado em cinco etapas interdependentes: delimitação do problema de pesquisa, definição das estratégias de busca, aplicação de critérios de seleção, organização e categorização do corpus textual e síntese interpretativa dos achados.

Delimitação do problema de pesquisa

A revisão foi orientada pela seguinte questão norteadora: quais são as implicações da Inteligência Artificial para a formação ética e para a prática profissional nas engenharias? A questão foi formulada com o propósito de abarcar tanto os impactos curriculares e pedagógicos quanto as transformações na responsabilidade profissional decorrentes da introdução de sistemas baseados em IA.



Estratégias de busca e bases consultadas

A busca bibliográfica foi realizada nas bases IEEE Xplore, Web of Science, Scopus e SciELO, selecionadas por sua relevância nas áreas de engenharia, tecnologia, educação e ética aplicada. Foram utilizadas combinações de descritores em língua inglesa, considerando a predominância de publicações internacionais no campo investigado. A estratégia de busca incluiu os seguintes termos e operadores booleanos: ("Artificial Intelligence" OR "AI") AND ("Engineering ethics" OR "Engineering education").

A estratégia buscou contemplar tanto trabalhos vinculados à ética em IA quanto estudos relacionados à formação em engenharias e às transformações da prática profissional. Ressalta-se que as buscas e a seleção da literatura foram realizadas entre dezembro de 2025 e janeiro de 2026.

Crítérios de inclusão e exclusão

Foram adotados os seguintes critérios de inclusão: publicações em periódicos científicos revisados por pares ou trabalhos completos publicados em anais de eventos internacionais; textos que abordassem explicitamente a intersecção entre Inteligência Artificial e ética no contexto das engenharias; estudos que discutissem implicações educacionais, profissionais ou normativas relacionadas à IA; e publicações em língua inglesa, portuguesa ou espanhola. Foram excluídos resumos expandidos, editoriais, resenhas e capítulos de livros; trabalhos que abordassem ética em IA sem conexão com engenharia ou formação profissional; e publicações duplicadas nas bases consultadas.

A busca inicial resultou na seleção de 45 trabalhos que, em uma primeira análise, apresentavam pertinência ao escopo da pesquisa. Entretanto, após a seleção inicial, foi aplicado um processo de filtragem com critérios de exclusão sucessivos para refinar o corpus e garantir a relevância e a qualidade dos artigos selecionados.

Em um primeiro momento, foram excluídos 11 trabalhos que não estavam disponíveis de forma gratuita, o que inviabilizaria uma análise pormenorizada. Em seguida, procedeu-se à remoção de cinco trabalhos que estavam duplicados nas diferentes bases de dados. Uma segunda análise de conteúdo dos títulos, resumos e introduções levou à exclusão de outros nove trabalhos, por se verificar que não abordavam diretamente a intersecção entre a IA e a dimensão ética das engenharias.



A seguir, foram descartados cinco trabalhos que não se enquadravam no formato de artigos científicos revisados por pares ou trabalhos completos publicados em anais de eventos, como capítulos de livros, resenhas e editoriais. Após a aplicação de todos os critérios de exclusão, restou um corpus textual final de 15 artigos e trabalhos publicados em anais de eventos internacionais, que constituem a base para os resultados e as discussões apresentados neste estudo.

Procedimento de análise e categorização

A análise dos textos foi conduzida por, no mínimo, dois autores, com o objetivo de reduzir vieses interpretativos individuais. Realizou-se leitura exploratória de títulos, resumos e palavras-chave, seguida de leitura integral dos textos selecionados. Posteriormente, procedeu-se à extração dos seguintes elementos analíticos: fundamentação conceitual sobre ética em IA; implicações para a prática profissional em engenharia; propostas pedagógicas ou recomendações curriculares; abordagens metodológicas para incorporação da ética no design e na governança tecnológica; e estudos de caso ilustrativos.

A partir da análise comparativa dos conteúdos, emergiram quatro eixos temáticos interpretativos: fundamentos e desafios atuais da ética em IA; implicações para a educação em engenharias; abordagens práticas de design e governança ética; e aplicações setoriais e cenários de fronteira. A organização em eixos não foi previamente definida, mas resultou de um processo indutivo de categorização temática, orientado pela recorrência de conceitos, problemas e proposições identificados no corpus.

Limitações metodológicas

A revisão integrativa permite uma síntese abrangente. Todavia, são reconhecidas as limitações inerentes ao método adotado. O corpus, ainda que relevante e atual, é reduzido, refletindo a especificidade da intersecção entre IA, ética e formação em engenharias. Ademais, a heterogeneidade metodológica dos estudos incluídos inviabiliza comparações quantitativas ou avaliações padronizadas de qualidade. Por fim, salienta-se que os resultados encontrados devem ser compreendidos como uma síntese interpretativa do estado da arte, e não como uma metanálise de evidências empíricas.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para fins de organização do trabalho, esta seção foi estruturada em seis subseções, que apresentam os resultados obtidos a partir da revisão integrativa da literatura. A primeira subseção se debruça sobre uma breve descrição do conjunto de trabalhos em exame.

Breve caracterização do corpus textual

O Quadro 1, disposto de acordo com a ordem de coleta das publicações, reúne informações relacionadas ao código identificador (ID), ao título, ao(s) nome(s) do(s) autor(es) e ao ano de publicação de cada trabalho analisado. Nas análises subsequentes, a fim de facilitar a leitura e evitar a repetição de referências extensas, optou-se por mencionar o respectivo código identificador (ID) de cada trabalho citado.

Quadro 1 – Relação de artigos científicos e trabalhos publicados em anais de eventos internacionais selecionados

ID	Autores	Título do trabalho	Local de publicação	Ano de publicação
C1	Thorin Daniel, Jin Xuan	<i>Responsible use of Generative AI in chemical engineering</i>	<i>Digital Chemical Engineering</i>	2024
C2	Milena B. Hoeschl, Tania C. D. Bueno, Hugo C. Hoeschl	<i>Fourth Industrial Revolution and the future of Engineering: Could Robots Replace Human Jobs? How Ethical Recommendations can Help Engineers Rule on Artificial Intelligence</i>	<i>2017 7th World Engineering Education Forum (WEEF)</i>	2017
C3	Jon Perez-Cerrolaza, Jaume Abella, Markus Borg, Carlo Donzella, Jesús Cerquides, Francisco J. Cazorla, Cristófer Englund, Markus Tauber, George Nikolakopoulos, Jose Luis Flores	<i>Artificial Intelligence for Safety-Critical Systems in Industrial and Transportation Domains: A Survey</i>	<i>ACM Computing Surveys</i>	2024
C4	Jing Suo, Mingcan Li, Jinhao Guo, Yan Sun	<i>Engineering Safety and Ethical Challenges in 2045 Artificial Intelligence Singularity</i>	<i>Sustainability</i>	2024
C5	Emre Kazim, Adriano Soares Koshiyama	<i>A high-level overview of AI ethics</i>	<i>Patterns</i>	2021
C7	Qihui Yuan, Tingxuan Chen, Qing Yang, Zongming Zhang	<i>Unveiling Ethical AI: An In-Depth Bibliometric and Visual Exploration</i>	<i>Ind. J. Pharm. Edu. Res.</i>	2024
C11	Susanne Vernim, Harald Bauer, Erwin Rauch, Marianne Thejls Ziegler, Steven Umbrello	<i>A value sensitive design approach for designing AI-based worker assistance systems in manufacturing</i>	<i>Procedia Computer Science</i>	2022



C14	Svenja Breuer, Maximilian Braun, Daniel Tigard, Alena Buyx, Ruth Müller	<i>How Engineers' Imaginaries of Healthcare Shape Design and User Engagement: A Case Study of a Robotics Initiative for Geriatric Healthcare AI Applications</i>	ACM Transactions on Computer-Human Interaction	2023
C19	Paul Formosa, Malcolm Ryan	<i>Making moral machines: why we need artificial moral agents</i>	AI & SOCIETY	2020
C20	Beth-Anne Schuelke-Leech, Timothy C. Leech, Betsy Barry, Sara Jordan-Mattingly	<i>Ethical Dilemmas for Engineers in the Development of Autonomous Systems</i>	IEEE International Symposium on Technology and Society	2018
C21	John Danaher, Henrik Skaug Sætra	<i>Mechanisms of Techno-Moral Change: A Taxonomy and Overview</i>	Ethical Theory and Moral Practice	2023
C22	Simon Burton, Ibrahim Habli, Tom Lawton, John McDermid, Phillip Morgan, Zoe Porter	<i>Mind the gaps: Assuring the safety of autonomous systems from an engineering, ethical, and legal perspective</i>	Artificial Intelligence	2020
C27	Gordana Dodig-Crnkovic	<i>Preparing Next Generation of Software Engineers for Future Societal Challenges and Opportunities</i>	SSE '15: Proceedings of the 2015 ACM SIGSOFT Symposium on Software Engineering for Society	2015
C28	Alexander M. Borg, John E. Baker	<i>Contemporary biomedical engineering perspective on volitional evolution for human radiotolerance enhancement beyond low-earth orbit</i>	Synthetic Biology	2021
C31	Bruce M. McLaren	<i>Extensionally defining principles and cases in ethics: An AI model</i>	Artificial Intelligence	2003

Fonte: elaborado pelos autores.

O corpus final, composto por 15 trabalhos publicados entre 2003 e 2024, evidencia a consolidação progressiva do debate sobre IA e ética no campo das engenharias, com intensificação significativa a partir de 2017 e, sobretudo, no período 2020-2024. Observa-se que mais da metade dos estudos foi publicada nos últimos quatro anos, o que indica tratar-se de uma agenda contemporânea, impulsionada pela expansão de sistemas autônomos e da IA generativa.

Do ponto de vista temporal, o trabalho mais antigo (C31, 2003) antecipa discussões sobre modelagem computacional de princípios éticos, representando uma abordagem ainda fortemente ancorada na tradição da IA simbólica. Após um hiato relativo, o debate ganha densidade com C27 (2015), voltado à formação de engenheiros de *software* diante de desafios sociais emergentes, e se expande a partir de 2017 com reflexões sobre automação, substituição do trabalho humano e recomendações éticas para a tomada de decisão em engenharia (C2). A partir de 2020, nota-se maior sofisticação conceitual e interdisciplinaridade, incorporando perspectivas da filosofia moral, estudos sociais da tecnologia, segurança de sistemas críticos e governança da IA.

Quanto aos locais de publicação, verifica-se predominância de periódicos e eventos internacionais de impacto nas áreas de computação, engenharia e ética



aplicada, como *Artificial Intelligence* (C22, C31), *AI & Society* (C19), *ACM Computing Surveys* (C3), *ACM Transactions on Computer-Human Interaction* (C14), *Patterns* (C5) e *Sustainability* (C4). Também se destacam anais de eventos relevantes, como o *World Engineering Education Forum* (C2), o *IEEE International Symposium on Technology and Society* (C20) e o *ACM SIGSOFT Symposium on Software Engineering for Society* (C27). Essa distribuição revela um campo transversal, situado na intersecção entre Engenharia, Ciência da Computação, Filosofia Prática e Estudos Sociais da Tecnologia.

Em termos temáticos, os trabalhos foram organizados em quatro eixos analíticos principais, a saber: fundamentos e desafios atuais da ética em IA; educação em engenharias: novas competências e horizontes filosóficos; abordagens práticas para o design e a governança ética; e estudos de caso: a ética em aplicações setoriais e de fronteira.

As quatro subseções subsequentes abordam os quatro grupos temáticos propostos que emergiram do exame dos trabalhos selecionados e refletem os eixos centrais do debate atual acerca da temática em tela. A última subseção consiste em uma síntese geral dos resultados da revisão da literatura.

Fundamentos e desafios atuais da ética em IA

O campo da ética em IA emerge como uma resposta direta à crescente preocupação com o impacto social, psicológico e político de uma tecnologia que avança em um ritmo exponencialmente mais rápido que as estruturas normativas capazes de a governar (C5). A literatura revela um acentuado crescimento no volume de pesquisas a partir de 2015, demonstrando que a comunidade acadêmica e a sociedade em geral estão intensificando os esforços para compreender e mitigar os riscos associados à IA (C7).

Os trabalhos centrais desta área buscam estabelecer um vocabulário comum e um conjunto de princípios norteadores, fundamentados nos conceitos de transparência, justiça, equidade, não maleficência, responsabilidade e privacidade (C5, C7). Contudo, o desafio central consiste em traduzir esses princípios abstratos em orientações concretas para a prática profissional em engenharia, dificuldade que se intensifica diante das assimetrias, vieses e opacidades inerentes às novas tecnologias (C5, C7).

Esta dificuldade é conceitualizada como um conjunto de "lacunas", a saber: a lacuna semântica, que representa a diferença entre a intenção humana, o comportamento de um sistema e a sua especificação formal; a lacuna de



responsabilidade moral, que surge quando não é possível atribuir culpa a um ator humano por um dano causado por um sistema autônomo; e a lacuna de responsabilização legal, que dificulta a compensação das vítimas (C22). A existência dessas lacunas não é meramente teórica, pois se manifesta de forma particular na cultura e na prática profissional das diferentes áreas das engenharias.

Nessa perspectiva, observa-se que a análise empírica do discurso em fóruns e publicações técnicas revela a ausência de debate ético, o que indica que as discussões sobre o desenvolvimento de sistemas de IA permanecem focadas nos desafios técnicos e, por consequência, desconsideram suas implicações sociais, políticas e ambientais (C20). Essa dissociação prática é agravada pelo fato de que a tecnologia, por sua natureza, não é um instrumento neutro, mas um artefato que propicia determinadas mudanças morais (C20, C21).

A tecnologia transforma a dimensão ética ao introduzir novas opções de ação, alterar os custos e benefícios das decisões, reconfigurar as relações de poder e modificar a própria percepção humana da realidade e dos dilemas morais (C21). De maneira geral, os trabalhos agrupados no primeiro tema constataam que a projeção dos desafios éticos para um futuro de IA avançada, como o cenário da "singularidade", apenas potencializa os riscos atuais. Destaca-se que a possibilidade de desemprego em massa, de erosão da privacidade e de perpetuação de discriminações torna a construção de um *framework* de segurança ética para a IA uma condição indispensável ao seu desenvolvimento sustentável (C4).

Educação em engenharias: novas competências e horizontes filosóficos

A literatura conclui que a disrupção causada pela IA exige uma revolução no ensino de engenharias, uma vez que os modelos atuais de formação demonstram considerável inércia a respeito dos iminentes desafios sociais e éticos (C2, C27). A principal crítica é que a educação em engenharias ainda se concentra no desenvolvimento de habilidades técnicas abstratas, sem considerar a inserção da tecnologia em contextos sociais e éticos complexos (C27).

Para sanar essa deficiência, propõe-se uma mudança educacional que vá além da simples inclusão de componentes curriculares isolados sobre ética (C2, C27). A experiência prática demonstra que cursos integrados e que cultivam a sensibilidade ética, o pluralismo e o pensamento crítico propiciam uma formação humana mais eficiente e duradoura (C27). Portanto, infere-se que o objetivo pedagógico do ensino de engenharias deve ser formar um profissional que



combine profundidade técnica com uma ampla compreensão de outras disciplinas e do contexto social, alinhado à visão de Pesquisa e Inovação Responsável (RRI) (C27). Essa abordagem educacional busca articular a mitigação dos riscos associados às novas tecnologias à manutenção da relevância social e da empregabilidade dos engenheiros em um ecossistema profissional futuro caracterizado pela automatização de diversas tarefas técnicas (C2).

Além das competências técnicas, a formação em engenharias deve começar a preparar os profissionais para os horizontes filosóficos e os dilemas de longo prazo que a IA suscita e suscitará (C19, C31). A literatura sugere que a própria IA pode ser uma aliada nesse processo pedagógico, pois modelos computacionais, como o sistema SIROCCO, podem servir como ferramentas de tutoria inteligente. Nessa linha de pensamento, o trabalho C31 enfatiza que os sistemas educacionais com IA integrada podem ajudar os estudantes a compreender como princípios éticos abstratos são aplicados em cenários concretos por meio da análise de um vasto repertório de casos. O referido estudo preconiza a adoção da metodologia de raciocínio baseado em casos, apoiada por um agente de IA, como estratégia para promover a transição de um modelo de ensino de ética de caráter deontológico, centrado na memorização de normas, para uma abordagem analítica, reflexiva e contextualizada às demandas e situações concretas que serão enfrentadas pelos futuros engenheiros (C31).

Além disso, a inserção de modelos de inteligência artificial nos sistemas educacionais pode potencializar estratégias pedagógicas voltadas ao desenvolvimento da autonomia moral, da sensibilidade ética e do pensamento crítico dos futuros engenheiros, por meio da análise de dilemas reais e da abordagem contextualizada de normas, princípios e códigos profissionais nos currículos (C27, C31). Contudo, as limitações inerentes aos algoritmos de aprendizado de máquina podem ampliar lacunas de responsabilidade moral e de interpretação semântica, além de comprometer a rastreabilidade e a explicabilidade das decisões produzidas pelos sistemas inteligentes (C22).

Como complemento, os trabalhos sugerem que os currículos de engenharias devem introduzir os estudantes em debates sobre a natureza da agência e da moralidade, como a questão sobre a possibilidade e a eticidade de construção de Agentes Morais Artificiais (AMAs) (C19). Apesar de parecer uma discussão futurista, a análise sobre se uma máquina pode ou deve tomar decisões morais autônomas redefine o papel do engenheiro como "criador da tecnologia" e a sua responsabilidade sobre artefatos que podem agir com um grau de independência sem precedentes (C19, C31).



A abordagem dos AMAs reforça um ponto central para a formação ética: a impossibilidade de deslocar a responsabilidade moral do engenheiro para o sistema. Os sistemas automatizados podem operar com graus elevados de autonomia funcional, porém a responsabilidade normativa permanece humana, distribuída entre projetistas, gestores, instituições e marcos regulatórios. Assim, constata-se que a discussão sobre AMAs deve ser incorporada à formação não como legitimação da substituição moral do humano, mas como exercício crítico sobre limites da formalização ética, riscos de diluição de responsabilidade e implicações sociopolíticas da automação normativa.

Os sistemas de inteligência artificial, apesar de sua crescente autonomia operacional, não possuem os requisitos necessários para a imputabilidade ética e legal, configurando a chamada "lacuna de responsabilidade" (C17, C22). Nesse viés, os estudos C17 e C22 aduzem que a responsabilidade moral permanece vinculada aos agentes humanos envolvidos no projeto, desenvolvimento e implementação dessas tecnologias.

Logo, os trabalhos C17 e C22 inferem que sistemas artificiais não podem assumir personalidade moral, em razão da ausência de livre-arbítrio, intencionalidade consciente e suscetibilidade à punição moral. Ademais, a opacidade dos algoritmos de aprendizado profundo dificulta o rastreamento causal e a previsibilidade de comportamentos em contextos não testados, fragilizando os critérios clássicos de controle e conhecimento da ação (C17, C22). Como implicação para o ensino da ética na engenharia, os mencionados trabalhos concluem que a responsabilidade ética é inalienável ao profissional, exigindo uma formação interdisciplinar que integre competências técnicas, sistêmicas e morais (C17, C22).

A inclusão desses debates na formação não apenas alarga o horizonte intelectual dos alunos de engenharias, mas os prepara para as inevitáveis questões de responsabilidade que surgirão à medida que os sistemas de IA se tornem cada vez mais autônomos.

Abordagens práticas para o design e a governança ética

Para superar a lacuna entre os princípios éticos abstratos e a prática concreta da engenharia, a literatura propõe metodologias e abordagens que visam incorporar a ética, de forma sistemática e proativa, no ciclo de vida do desenvolvimento de sistemas de IA. Uma das abordagens estruturadas é o *Value Sensitive Design* (VSD), que oferece um *framework* para o design tecnológico



sensível a valores humanos e para a reflexão acerca do desenvolvimento e/ou implementação de diferentes modelos de IA (C11).

À vista disso, argumenta-se que o VSD se distancia dos modelos tradicionais centrados exclusivamente em requisitos funcionais e critérios de eficiência da IA, pois propõe um processo iterativo que integra investigações conceituais destinadas à identificação e explicitação de valores relevantes, tais como bem-estar e justiça (C11). Adicionalmente, assevera-se que o VSD estabelece investigações empíricas para compreender como os *stakeholders* percebem e priorizam esses valores e investigações técnicas para analisar como as propriedades do artefato tecnológico suportam ou restringem tais valores (C11).

Como um paralelo à abordagem pautada no VSD, outros trabalhos defendem a adaptação de culturas e processos de governança já consolidados nas engenharias (C1, C3). Argumenta-se que a cultura de segurança (*safety culture*), fundamental em áreas como a engenharia química, pode ser estendida para abranger os novos desafios impostos pela IA (C1). A cultura de segurança revela-se promissora para a identificação e mitigação de riscos éticos, como, vieses algorítmicos e falta de transparência, uma vez que adapta processos sistemáticos voltados à gestão de riscos físicos e ambientais às novas demandas sociotécnicas (C1).

A implementação de qualquer uma dessas abordagens práticas, no entanto, precisa enfrentar os desafios intrínsecos à tecnologia de IA, especialmente em sistemas críticos para a segurança. A natureza de "caixa-preta" de alguns modelos de aprendizado de máquina representa uma barreira significativa para a verificação, validação e conformidade com os padrões de segurança tradicionais, como os exigidos nos domínios industrial e de transportes (C3). A garantia da "confiabilidade" (*trustworthiness*) de um sistema de IA, dessa maneira, transcende a segurança funcional, pois exige a integração de dimensões éticas e legais desde o início do projeto (C3).

Com o intuito de navegar na incerteza que emerge da complexidade dos sistemas de aprendizado de máquina e de seus ambientes operacionais, o trabalho C22 recomenda o "método do equilíbrio reflexivo" como um procedimento prático de deliberação. O citado método permite que equipes multidisciplinares analisem cenários de fronteira e dilemas éticos, buscando uma coerência entre julgamentos específicos sobre o comportamento desejado do sistema, os princípios éticos gerais e as limitações técnicas (C22). Ao fazer isso, infere-se que o equilíbrio reflexivo viabiliza a mitigação da "lacuna semântica" entre



a intenção do projetista e a especificação do sistema, o que torna a ética um componente gerenciável e auditável dentro do processo de engenharia (C22).

Estudos de caso: a ética em aplicações setoriais e de fronteira

A análise de estudos de caso setoriais revela como os desafios éticos da IA se materializam em domínios concretos da engenharia. Diante desse cenário, observa-se que os trabalhos discutem a importância de modelos de formação ética que oportunizem a transição do exame de dilemas e conceitos filosóficos abstratos para a reflexão crítica referente à resolução de problemas de design e governança práticos.

O campo dos veículos autônomos, por exemplo, serve como um paradigma para a complexidade desses desafios. A literatura critica a simplificação excessiva do debate, argumentando que a verdadeira questão ética não reside em programar escolhas trágicas, mas em desenvolver uma análise de nível de sistema que vise a uma redução global de danos.

A perspectiva de análise ética sistêmica é reforçada pela discussão sobre a necessidade de padrões de segurança, como a "Segurança da Funcionalidade Pretendida" (SOTIF), que lidam com os riscos emergentes da interação de sistemas complexos com ambientes imprevisíveis, um desafio muito mais premente do que dilemas morais hipotéticos (C3). A engenharia de sistemas de transporte autônomo, portanto, desloca o foco ético da decisão em um acidente inevitável para a responsabilidade de projetar um ecossistema de transporte mais seguro como um todo.

A reconfiguração de responsabilidades e práticas profissionais é um tema transversal que também emerge em outros setores (C11, C14, C28). No campo da saúde, a investigação sobre o imaginário de engenheiros que desenvolvem soluções robóticas para cuidados geriátricos demonstra como suas premissas e visões de mundo moldam diretamente o artefato tecnológico (C14). Ao fragmentar o cuidado em tarefas "físicas" delegáveis a robôs e tarefas "sociais" reservadas a humanos, o design pode inadvertidamente desvalorizar aspectos essenciais do trabalho de cuidado e reforçar hierarquias problemáticas (C14).

De forma semelhante, na manufatura, o desenvolvimento de sistemas de assistência ao trabalhador baseados em IA levanta questões sobre autonomia, vigilância e o bem-estar do operador, tornando necessário o uso de metodologias como o *Value Sensitive Design* para garantir que a tecnologia seja projetada em prol dos valores humanos (C11). Em ambos os casos citados pelos trabalhos C11 e



C14, percebe-se que a engenharia não está apenas otimizando um conjunto de tarefas repetitivas, mas redesenhando a natureza do trabalho e as relações humanas nele implicadas.

A discussão também se debruça sobre os denominados "cenários de fronteira", como a proposta de usar a engenharia biomédica e a IA para promover uma "evolução volitiva", mediante a alteração do genoma humano para a criação de resistência à radiação em missões espaciais de longa duração (C28). O mencionado caso extremo ilustra como o horizonte da ética na engenharia está se expandindo para além da criação de artefatos tecnológicos externos, uma vez que pode incluir a própria modificação da condição humana. Em outros termos, nota-se que a ocorrência de "cenários de fronteira" passará a exigir um novo patamar de deliberação ética e responsabilidade profissional dos engenheiros e demais profissionais envolvidos no contínuo e vertiginoso processo de inovação tecnológica.

Síntese dos resultados da revisão integrativa da literatura

A análise dos trabalhos selecionados converge para uma conclusão central: a ascensão da IA impõe a necessidade de uma reavaliação crítica e urgente da formação ética nas engenharias, tanto no âmbito acadêmico quanto na prática profissional. A literatura estabelece que o desafio ultrapassa a aplicação de códigos de conduta preexistentes, uma vez que a IA reconfigura os regimes e parâmetros de responsabilização jurídica, bem como os referenciais semânticos envolvidos na tomada de decisão, tensionando as estruturas normativas tradicionais e evidenciando suas limitações diante de sistemas sociotécnicos complexos (C22, C3).

Esse vácuo normativo identificado é agravado por uma cultura profissional na qual o discurso ético é subvalorizado, com as discussões sobre o desenvolvimento de sistemas complexos permanecendo em um registro predominantemente técnico e divorciado de suas implicações sociais (C20). A tecnologia não é um véu neutro sobre a prática, mas um agente ativo que reconfigura a paisagem moral ao alterar opções, custos decisórios e a própria percepção da realidade, tornando a ausência de uma reflexão ética integrada uma omissão e um risco ativo (C21, C4, C5). A análise bibliométrica do campo confirma que, embora a preocupação com a ética em IA seja crescente, ela ainda busca consolidar seus fundamentos e métodos (C7).



Em resposta a esse cenário, a literatura aponta de forma uníssona para a necessidade de uma profunda reforma na educação em engenharias contemporânea. A proposta central da literatura investigada é abandonar o modelo pedagógico que trata a ética como um componente curricular periférico e adotar uma abordagem que a integre ao cerne da identidade e da competência do engenheiro moderno (C20, C27). O objetivo da educação em engenharias deve ser formar profissionais com um perfil que alie profundidade técnica à compreensão do contexto social (C27).

Nesse contexto, a formação ética deve integrar a reflexão teórica à resolução de problemas práticos, ou seja, deve incorporar metodologias que permitam a operacionalização da ética. Para tanto, a literatura salienta que o *Value Sensitive Design (VSD)* pode ser implementado como *framework* para incorporar valores humanos desde a concepção de uma tecnologia (C11).

Ademais, infere-se que a adaptação de culturas de segurança consolidadas oferece um modelo para a governança de riscos éticos com o mesmo rigor aplicado aos riscos físicos (C1). Adicionalmente, o ensino de ética pode ser enriquecido pelo uso da própria IA como ferramenta pedagógica, utilizando o raciocínio baseado em casos para ilustrar como princípios abstratos se manifestam em dilemas concretos (C31), e por processos de deliberação estruturada, como o "equilíbrio reflexivo", para navegar a incerteza em cenários complexos (C22).

A relevância dessas abordagens práticas é confirmada quando observada à luz dos estudos de caso setoriais, que revelam a materialização dos desafios éticos ocasionados pela IA. A engenharia de veículos autônomos, por exemplo, exige uma mudança de foco de dilemas morais simplistas para uma análise sistêmica da segurança e do bem público. No âmbito da saúde e da manufatura, a introdução da IA e da robótica reconfigura a natureza do trabalho humano, levantando questões sobre autonomia, vigilância e a valorização do cuidado, cujas respostas são diretamente moldadas pelo "imaginário" e pelas premissas éticas dos próprios engenheiros (C14, C11).

A discussão é ampliada em aplicações de fronteira, como a engenharia biomédica para a exploração espacial, onde a possibilidade de uma "evolução volitiva" redefine os limites da intervenção humana e da responsabilidade profissional (C28). Percebe-se que a formação dos engenheiros deve prepará-los para os desafios atuais, mas também para os horizontes filosóficos da sua profissão (C19).

A incorporação da inteligência artificial no ensino de engenharias demanda uma reconfiguração da formação docente, deslocando o professor da função de



transmissor de conteúdos para a de mediador ético do processo formativo (C20, C22). Os estudos analisados concluem que a utilização de sistemas generativos exige a implementação de novas práticas avaliativas, o fortalecimento do pensamento crítico e a integração de competências técnicas, éticas e humanísticas (C2, C20, C22, C27, C31). A partir da literatura analisada, observa-se que a formação do docente de engenharias deve priorizar o desenvolvimento da governança ética e da literacia algorítmica, bem como o uso dos modelos de IA de forma crítica, transparente e responsável (C20, C22, C31).

A síntese da revisão da literatura indica, em suma, que a integração da ética no ensino de engenharias na era da IA não pressupõe uma mera atualização curricular. Pelo contrário, constata-se a importância de reflexões sobre os impactos das novas tecnologias na identidade profissional dos engenheiros. Nessa conjuntura, torna-se imprescindível que o ensino de engenharias capacite os futuros engenheiros para que sejam profissionais capazes de refletir sobre os impactos ambientais, sociais, políticos e psicológicos de sua atuação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão integrativa da literatura delineada demonstra que a ascensão da IA catalisou a necessidade urgente de reestruturação da educação em engenharias e, especificamente, da formação ética ofertada aos discentes dos cursos e programas de engenharias. A análise revela um campo em transição, que se afasta de uma abordagem teórica e baseada em códigos de conduta para uma perspectiva formativa que prioriza competências práticas e a análise sistêmica dos impactos sociotécnicos.

A principal conclusão é que a formação tradicional se revela insuficiente para preparar engenheiros para os desafios impostos por uma tecnologia que redefine categorias conceituais, tensiona referenciais normativos consolidados e promove transformações nos valores e nas práticas sociais. A inadequação do modelo tradicional de ensino de ética vigente nas engenharias é corroborada por evidências empíricas de uma dissociação entre o discurso técnico predominante na prática da engenharia e a consideração explícita de suas implicações éticas. Logo, sublinha-se a necessidade de uma reforma educacional que integre a ética como um componente central e indissociável da estrutura curricular dos cursos e programas de engenharias.



A partir da análise da literatura selecionada, identificaram-se três principais tendências que moldam o futuro do campo em tela. A primeira é a mudança do foco em princípios abstratos para o desenvolvimento de metodologias práticas e ensináveis, como o VSD e a adaptação de culturas de segurança. A segunda tendência é a superação de dilemas morais simplificados em favor de uma análise de nível de sistema, que considera os impactos agregados e as complexas interações entre humanos e sistemas autônomos. Uma terceira tendência emergente é a reflexão ética antecipatória, que busque deliberar proativa e criticamente sobre os desafios de fronteira.

No entanto, assevera-se que a literatura também revela lacunas que demandam investigações futuras. Em primeiro lugar, embora haja um forte apelo por novas abordagens pedagógicas, existe uma carência de estudos empíricos longitudinais que avaliem a eficácia dessas novas metodologias de ensino no desenvolvimento de competências éticas. Em segundo lugar, reconhece-se que as propostas de utilização da IA como ferramenta para o ensino da ética abrem uma nova fronteira de pesquisa ainda inexplorada sobre a governança e os princípios éticos que devem reger o design desses sistemas educacionais para garantir a promoção do raciocínio moral. Trabalhos futuros devem concentrar-se na validação empírica do impacto educacional, no desenvolvimento de modelos para a deliberação ética em contextos organizacionais e na criação de *frameworks* para a governança ética da IA aplicada à própria educação.

REFERÊNCIAS

- BORG, A. M.; BAKER, J. E. Contemporary biomedical engineering perspective on volitional evolution for human radiotolerance enhancement beyond low-earth orbit. **Synthetic Biology**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2021.
- BREUER, S. *et al.* How engineers' imaginaries of healthcare shape design and user engagement: a case study of a robotics initiative for geriatric healthcare AI applications. **ACM Transactions on Computer-Human Interaction**, v. 30, n. 2, art. 30, 2023.
- BURTON, S. *et al.* Mind the gaps: assuring the safety of autonomous systems from an engineering, ethical, and legal perspective. **Artificial Intelligence**, v. 279, art. 103201, 2020.
- ÇAYIR, A. A literature review on the effect of artificial intelligence on education. **Journal of Human and Social Sciences**, v. 6, n. 2, p. 276-288, 2023.
- CHEN, L.; CHEN, P.; LIN, Z. Artificial intelligence in education: a review. **IEEE Access**, v. 8, p. 75264-75278, 2020.



- DANAHER, J.; SÆTRA, H. S. Mechanisms of techno-moral change: a taxonomy and overview. **Ethical Theory and Moral Practice**, 2023.
- DANIEL, T.; XUAN, J. Responsible use of generative AI in chemical engineering. **Digital Chemical Engineering**, v. 12, art. 100168, 2024.
- DODIG-CRNKOVIC, G. Preparing next generation of software engineers for future societal challenges and opportunities. In: ACM SIGSOFT SYMPOSIUM ON SOFTWARE ENGINEERING FOR SOCIETY (SSE), 2015, Bergamo. **Proceedings [...]**, p. 49–52. New York: ACM, 2015.
- ERCOLE, F. F.; MELO, L. S. de; ALCOFORADO, C. L. G. C. Revisão integrativa versus revisão sistemática. **REME – Revista Mineira de Enfermagem**, v. 18, n. 1, 2014.
- FORMOSA, P.; RYAN, M. Making moral machines: why we need artificial moral agents. **AI & Society**, 2020.
- HARDEBOLLE, C.; HÉDER, M.; RAMACHANDRAN, V. Engineering ethics education and artificial intelligence. In: CHANCE, S.; BØRSEN, T.; MARTIN, D. A.; TORMEY, R.; LENNERFORS, T. T.; BOMBAERTS, G. (ed.). **The Routledge International Handbook of Engineering Ethics Education**, cap. 7, p. 125-141. London: Routledge, 2025.
- HOESCHL, M. B.; BUENO, T. C. D.; HOESCHL, H. C. Fourth Industrial Revolution and the future of engineering: could robots replace human jobs? How ethical recommendations can help engineers rule on artificial intelligence. In: WORLD ENGINEERING EDUCATION FORUM (WEEF), 7., 2017, Daegu. **Proceedings [...]**. Daegu: IFEEs, 2017.
- KAZIM, E.; KOSHIYAMA, A. S. A high-level overview of AI ethics. **Patterns**, v. 2, n. 9, art. 100314, 2021.
- KENGAM, J. Artificial intelligence in education. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION (AIED), 21., 2020. **Proceedings [...]**. Ifrane: Springer, 2020.
- LEZ'ER, V. *et al.* Application of artificial intelligence in the field of geotechnics and engineering education. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON ENERGY, ENVIRONMENTAL AND CONSTRUCTION ENGINEERING (SPBWOSCE), 2018, Saint Petersburg. **E3S Web of Conferences**, v. 110, art. 02094, 2019.
- MCLAREN, B. M. Extensionally defining principles and cases in ethics: an AI model. **Artificial Intelligence**, v. 150, n. 1–2, p. 145-181, 2003.
- PEREZ-CERROLAZA, J.; ABELLA, J.; BORG, M.; DONZELLA, C.; CERQUIDES, J.; CAZORLA, F. J.; ENGLUND, C.; TAUBER, M.; NIKOLAKOPOULOS, G.; FLORES, J. L. Artificial intelligence for safety-critical systems in industrial and transportation domains: a survey. **ACM Computing Surveys**, v. 56, n. 7, art. 176, 2024.
- SCHUELKE-LEECH, B.-A.; LEECH, T. C.; BARRY, B.; JORDAN-MATTINGLY, S. Ethical dilemmas for engineers in the development of autonomous systems. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECHNOLOGY AND SOCIETY, 2018, Washington, DC. **Proceedings [...]**. Washington, DC: IEEE, 2018.
- SUO, J. *et al.* Engineering safety and ethical challenges in 2045 artificial intelligence singularity. **Sustainability**, v. 16, art. 10337, 2024.
- VERNIM, S. *et al.* A value sensitive design approach for designing AI-based worker assistance systems in manufacturing. **Procedia Computer Science**, v. 200, p. 505-516, 2022.
- YUAN, Q. *et al.* Unveiling ethical AI: an in-depth bibliometric and visual exploration. **Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research**, v. 58, n. 4, p. 1084-1101, 2024.