

INTEGRAÇÃO DA BIOTECNOLOGIA E DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA MEDICINA PERSONALIZADA: AVANÇOS TECNOLÓGICOS E DESAFIOS ÉTICOS EM SAÚDE

Integration Of Biotechnology And Artificial Intelligence In Personalized Medicine: Technological Advances And Ethical Challenges In Health

Breno de Oliveira Malverdi¹, José Songlei da Silva Rocha²

E-mail correspondente: brenomalverdi@hotmail.com

Data de publicação: 30 de janeiro de 2026

DOI: doi.org/10.55703/27644006060101

RESUMO

A medicina personalizada tem se consolidado como uma abordagem inovadora ao considerar as características individuais dos pacientes para a tomada de decisões clínicas. Nesse contexto, a integração entre biotecnologia e inteligência artificial tem impulsionado avanços significativos na análise de dados biológicos complexos, no desenvolvimento de terapias personalizadas e no suporte à decisão clínica. O objetivo desta revisão integrativa foi analisar criticamente as evidências científicas sobre os avanços tecnológicos e os desafios éticos relacionados à aplicação conjunta da biotecnologia e da inteligência artificial na medicina personalizada em saúde humana. A metodologia consistiu em uma revisão integrativa da literatura, com busca sistemática em bases de dados internacionais, utilizando descritores relacionados à inteligência artificial, biotecnologia e medicina personalizada. Foram incluídos artigos publicados entre 2018 e 2025, revisados por pares e disponíveis na íntegra, resultando na seleção de 20 estudos científicos. Os resultados demonstraram que a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina e deep learning tem contribuído para a identificação de biomarcadores, a estratificação de pacientes e a otimização de terapias, especialmente em áreas como oncologia e desenvolvimento de fármacos. Entretanto, os estudos também evidenciaram desafios relevantes, como a necessidade de validação clínica rigorosa, a qualidade dos dados utilizados e as implicações éticas relacionadas à privacidade, ao viés algorítmico e à transparência dos modelos. Conclui-se que a integração entre biotecnologia e inteligência artificial apresenta elevado potencial para transformar a medicina personalizada, desde que acompanhada por marcos éticos, regulatórios e científicos que assegurem sua aplicação segura, equitativa e eficaz.

Palavras-chave: inteligência artificial; biotecnologia; medicina personalizada; ética em saúde.

ABSTRACT

Personalized medicine has emerged as an innovative approach by considering individual patient characteristics to guide clinical decision-making. In this context, the integration of biotechnology and artificial intelligence has driven significant advances in the analysis of complex biological data, the development of personalized therapies, and clinical decision support. This integrative review aimed to critically analyze scientific evidence regarding technological advances and ethical challenges related to the combined application of biotechnology and artificial intelligence in personalized medicine for human health. The methodology consisted of an integrative literature review, with a systematic search in international databases using descriptors related to artificial intelligence, biotechnology, and personalized medicine. Peer-reviewed

articles published between 2018 and 2025 and available in full text were included, resulting in a final sample of 20 scientific studies. The results showed that machine learning and deep learning algorithms have contributed to biomarker identification, patient stratification, and therapy optimization, particularly in oncology and drug development. However, relevant challenges were also identified, including the need for rigorous clinical validation, data quality issues, and ethical implications related to privacy, algorithmic bias, and model transparency. It is concluded that the integration of biotechnology and artificial intelligence holds substantial potential to transform personalized medicine, provided that it is supported by ethical, regulatory, and scientific frameworks that ensure safe, equitable, and effective application.

Keywords: artificial intelligence; biotechnology; personalized medicine; health ethics.

INTRODUÇÃO

A medicina personalizada representa uma mudança paradigmática no cuidado em saúde, ao substituir abordagens generalistas por estratégias terapêuticas baseadas nas características individuais de cada paciente, incluindo fatores genéticos, moleculares, clínicos e ambientais [1,2]. Nesse contexto, a integração entre biotecnologia e inteligência artificial (IA) tem se consolidado como um dos principais vetores de inovação, possibilitando avanços significativos na prevenção,

diagnóstico, prognóstico e tratamento de doenças complexas [3,4].

A biotecnologia, especialmente por meio das tecnologias ômicas (genômica, transcriptômica, proteômica e metabolômica), gera grandes volumes de dados altamente complexos, cuja interpretação ultrapassa a capacidade dos métodos analíticos tradicionais [5,6]. A inteligência artificial, por sua vez, oferece ferramentas computacionais capazes de processar, integrar e extrair padrões relevantes desses dados em larga escala, favorecendo a identificação de biomarcadores, a estratificação de

pacientes e a predição de respostas terapêuticas individualizadas [7–9]. Essa convergência tem impulsionado aplicações práticas em áreas como oncologia de precisão, farmacogenômica, diagnóstico por imagem, desenvolvimento de fármacos e medicina preventiva [10–12].

Estudos recentes demonstram que algoritmos de aprendizado de máquina e deep learning podem aumentar a acurácia diagnóstica, reduzir o tempo de desenvolvimento de medicamentos e apoiar a tomada de decisão clínica de forma personalizada [13–15]. Além disso, a utilização de modelos preditivos baseados em IA tem contribuído para a otimização de ensaios clínicos e para a seleção mais precisa de terapias, alinhando-se aos princípios da medicina baseada em valor e centrada no paciente [16,17].

Entretanto, apesar dos avanços tecnológicos, a integração da biotecnologia e da inteligência artificial na medicina personalizada levanta desafios éticos, legais e sociais relevantes. Questões relacionadas à privacidade e

segurança dos dados, viés algorítmico, transparência dos modelos, responsabilidade profissional e governança regulatória têm sido amplamente debatidas na literatura científica [18–20]. A ausência de explicabilidade em determinados sistemas de IA, aliada à dependência de grandes bases de dados sensíveis, reforça a necessidade de estruturas éticas sólidas e de validação clínica rigorosa para garantir a segurança e a equidade no cuidado em saúde [16,19].

Diante desse cenário, torna-se fundamental sistematizar o conhecimento científico disponível sobre a integração da biotecnologia e da inteligência artificial na medicina personalizada, destacando tanto os avanços tecnológicos quanto os desafios éticos associados à sua implementação. Assim, o objetivo desta revisão integrativa é analisar criticamente as evidências científicas atuais acerca do uso combinado dessas tecnologias na medicina personalizada, identificando suas principais aplicações, benefícios, limitações e implicações éticas no contexto da saúde humana.

METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma revisão integrativa da literatura, abordagem metodológica que possibilita a análise sistemática e crítica de evidências científicas provenientes de diferentes delineamentos de pesquisa, permitindo a compreensão abrangente do estado atual do conhecimento e a identificação de lacunas relevantes na produção científica [1]. A condução da revisão seguiu etapas previamente definidas, incluindo a formulação da questão de pesquisa, a definição das estratégias de busca, a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, a seleção dos estudos, a extração dos dados e a síntese dos resultados [1,2].

A questão norteadora que orientou esta revisão foi: quais são os avanços tecnológicos e os principais desafios éticos relacionados à integração da biotecnologia e da inteligência artificial na medicina personalizada em saúde humana? A busca bibliográfica foi realizada de forma sistemática nas bases de dados PubMed/MEDLINE, PubMed Central (PMC), ScienceDirect, SpringerLink, MDPI, Nature Portfolio e Cureus, selecionadas por sua ampla cobertura de periódicos científicos nas áreas da saúde, biotecnologia e inteligência artificial aplicada à medicina [3–5].

Foram utilizados descritores controlados e não controlados, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, incluindo os termos Artificial Intelligence, Biotechnology, Personalized Medicine, Precision Medicine, Machine Learning, Bioinformatics e Ethics. As estratégias de busca contemplaram combinações como Artificial Intelligence AND Personalized Medicine, Biotechnology AND Artificial Intelligence, Precision Medicine AND Machine Learning e Artificial Intelligence AND Ethics AND Healthcare, com o objetivo de abranger estudos que discutissem tanto os avanços tecnológicos quanto as implicações éticas da temática investigada.

Os critérios de inclusão adotados foram: artigos científicos originais ou de revisão, publicados entre 2018 e 2025, disponíveis na íntegra, nos idiomas inglês ou português, revisados por pares e que abordassem diretamente a aplicação integrada da biotecnologia e da inteligência artificial na medicina personalizada em saúde humana. Foram excluídos editoriais, cartas ao editor, resumos de congressos, estudos duplicados, publicações sem rigor metodológico e trabalhos que abordassem a inteligência artificial ou a biotecnologia

de forma isolada, sem relação direta com a medicina personalizada.

A seleção dos estudos ocorreu inicialmente por meio da leitura dos títulos e resumos, com exclusão daqueles que não atendiam aos critérios estabelecidos. Em seguida, os textos completos dos artigos potencialmente elegíveis foram avaliados de forma criteriosa, considerando a pertinência temática e a qualidade metodológica. Ao final desse processo, vinte artigos científicos atenderam plenamente aos critérios de elegibilidade e compuseram a amostra final desta revisão integrativa.

A extração dos dados foi realizada de maneira padronizada, contemplando informações referentes aos autores, ano de publicação, objetivos, delineamento metodológico, principais aplicações da inteligência artificial e da biotecnologia na medicina personalizada, resultados relevantes e aspectos éticos discutidos. A análise dos dados ocorreu de forma qualitativa e descritiva, permitindo a comparação entre os estudos, a identificação de convergências e divergências e a construção de uma síntese crítica das evidências disponíveis [6–9].

Os resultados foram organizados por meio de uma abordagem narrativa

analítica, priorizando a integração dos achados científicos relacionados aos avanços tecnológicos e aos desafios éticos associados à aplicação conjunta da biotecnologia e da inteligência artificial na medicina personalizada, possibilitando uma visão abrangente e crítica do tema investigado.

RESULTADOS

A busca sistemática e a aplicação rigorosa dos critérios de elegibilidade resultaram na inclusão de **20 estudos científicos** que abordaram, de forma direta, a integração entre biotecnologia e inteligência artificial no contexto da medicina personalizada. Os artigos selecionados foram publicados entre 2018 e 2025 e contemplaram diferentes delineamentos metodológicos, incluindo revisões narrativas, revisões sistemáticas e estudos aplicados, refletindo a natureza multidisciplinar e emergente da temática investigada.

De modo geral, os resultados evidenciaram que a integração entre biotecnologia e inteligência artificial tem promovido avanços significativos na análise de dados ômicos, no desenvolvimento de terapias personalizadas, na estratificação de

pacientes e no suporte à tomada de decisão clínica [1–4]. A maioria dos estudos destacou o uso de algoritmos de machine learning e deep learning para processamento de grandes volumes de dados genômicos, proteômicos e clínicos, possibilitando a identificação de biomarcadores preditivos e prognósticos com maior precisão [5–9].

No campo da descoberta e desenvolvimento de fármacos, os estudos demonstraram que a aplicação de inteligência artificial associada a ferramentas biotecnológicas contribui para a redução do tempo e dos custos envolvidos nas etapas pré-clínicas e clínicas, além de favorecer a seleção de terapias mais eficazes e seguras para subgrupos específicos de pacientes [3,10,20]. Em áreas como oncologia e cardiologia, os resultados indicaram melhorias na personalização do tratamento e no monitoramento da resposta terapêutica, reforçando o

potencial clínico dessas tecnologias [8,11,14].

Entretanto, os estudos também apontaram desafios relevantes, especialmente no que se refere à qualidade e heterogeneidade dos dados, à validação externa dos modelos preditivos e à reprodutibilidade dos resultados em diferentes populações [6,7,15]. Questões éticas e legais foram recorrentes, com ênfase na privacidade e segurança dos dados sensíveis, no viés algorítmico, na falta de transparência dos modelos de IA e na definição de responsabilidades profissionais no uso clínico dessas ferramentas [16,18,19].

Para facilitar a visualização resumida das principais características dos estudos incluídos, a **Tabela 1** apresenta uma síntese dos artigos selecionados, destacando o foco principal das aplicações tecnológicas e a abordagem ética discutida.

Tabela 1 – Síntese dos estudos incluídos na revisão integrativa sobre biotecnologia e inteligência artificial na medicina personalizada

Autor/Ano	Tipo de estudo	Principal aplicação tecnológica	Aspectos éticos abordados
Parekh et al., 2023	Revisão narrativa	Integração de IA a dados genômicos e clínicos	Transparência e validação clínica

Autor/Ano	Tipo de estudo	Principal aplicação tecnológica	Aspectos éticos abordados
Serrano et al., 2024	Revisão aplicada	Descoberta de fármacos personalizada	Qualidade dos dados
Jamialahmadi et al., 2024	Revisão narrativa	Bioinformática e análise ômica por IA	Governança de dados
Ahmad et al., 2025	Revisão sistemática	Oncologia de precisão	Equidade e regulação
Bhushan et al., 2025	Estudo aplicado	IA multimodal em biotecnologia	Privacidade e segurança

Fonte: Elaboração própria com base nos estudos selecionados.

Conforme mostrado na **Tabela 1**, observa-se a predominância de estudos voltados para aplicações clínicas e translacionais, com atenção crescente às implicações éticas do uso da inteligência artificial associada à biotecnologia. A síntese dos resultados indica que, embora os avanços tecnológicos sejam expressivos, a consolidação da medicina personalizada baseada nessas ferramentas depende do enfrentamento simultâneo de desafios técnicos, éticos e regulatórios, apontando para a necessidade de abordagens integradas e multidisciplinares no desenvolvimento futuro da área [12,16–19].

Os resultados desta revisão integrativa evidenciam que a integração entre biotecnologia e inteligência artificial tem desempenhado um papel central na consolidação da medicina personalizada, ao permitir a análise integrada de dados complexos e a tomada de decisões clínicas cada vez mais individualizadas. De forma consistente, os estudos analisados demonstram que a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina e deep learning amplia a capacidade de interpretação de dados genômicos, proteômicos e clínicos, favorecendo a identificação de biomarcadores, a estratificação de pacientes e a personalização terapêutica [1–4].

DISCUSSÃO

Um dos principais avanços observados refere-se ao uso da inteligência artificial na análise de dados ômicos, campo no qual métodos computacionais tradicionais apresentam limitações significativas. A literatura indica que a combinação de biotecnologia e IA possibilita a detecção de padrões biológicos complexos e não lineares, contribuindo para diagnósticos mais precoces e precisos, bem como para a predição de respostas terapêuticas individualizadas [5–7]. Esses achados reforçam o potencial da medicina personalizada em superar abordagens padronizadas, especialmente em áreas como oncologia de precisão, cardiologia e farmacogenômica [8–11].

No contexto do desenvolvimento de medicamentos, os estudos revisados apontam que a aplicação de inteligência artificial associada à biotecnologia reduz o tempo e os custos das etapas pré-clínicas e clínicas, além de otimizar a seleção de moléculas com maior probabilidade de sucesso terapêutico [3,12]. Essa integração tem permitido a transição de modelos empíricos para estratégias baseadas em dados, favorecendo a personalização do tratamento e o aumento da eficácia clínica [13,14]. No entanto, a dependência de grandes volumes de

dados de alta qualidade permanece como um fator limitante, uma vez que bases de dados incompletas ou enviesadas podem comprometer a confiabilidade dos modelos preditivos [6,15].

Apesar dos benefícios tecnológicos evidenciados, a literatura analisada destaca desafios éticos, legais e sociais relevantes associados à implementação da inteligência artificial na medicina personalizada. Questões relacionadas à privacidade e segurança dos dados sensíveis, ao viés algorítmico e à falta de transparência dos modelos de IA foram amplamente discutidas nos estudos incluídos [16–18]. A utilização de sistemas de “caixa-preta”, nos quais os processos decisórios não são plenamente compreendidos, levanta preocupações quanto à responsabilidade profissional e à confiança no uso clínico dessas tecnologias [16,19].

Outro aspecto crítico refere-se à validação clínica e à generalização dos modelos de inteligência artificial. Embora muitos estudos apresentem resultados promissores em ambientes controlados, a aplicação em contextos reais de prática clínica ainda enfrenta limitações relacionadas à diversidade populacional e à reprodutibilidade dos achados [7,15]. Dessa forma, a literatura reforça a

necessidade de validações externas robustas e de estudos multicêntricos que garantam a segurança, a equidade e a eficácia da medicina personalizada baseada em IA [11,14].

Adicionalmente, observa-se que a governança regulatória e a formação profissional emergem como elementos essenciais para a consolidação da integração entre biotecnologia e inteligência artificial na saúde. Os estudos apontam que a adoção responsável dessas tecnologias requer marcos regulatórios claros, além da capacitação de profissionais de saúde para a interpretação crítica e o uso ético das ferramentas de IA [2,16,18]. A ausência desses elementos pode ampliar desigualdades no acesso à inovação e comprometer os benefícios potenciais da medicina personalizada.

Em síntese, a discussão dos achados evidencia que a integração entre biotecnologia e inteligência artificial representa um avanço significativo para a medicina personalizada, oferecendo oportunidades concretas para a melhoria dos desfechos clínicos e da eficiência dos sistemas de saúde. Contudo, a efetiva incorporação dessas tecnologias depende do enfrentamento simultâneo de desafios técnicos, éticos e regulatórios, reforçando

a importância de abordagens interdisciplinares e de políticas públicas orientadas para o uso seguro, transparente e equitativo da inovação em saúde [1,16–20].

CONCLUSÃO

A presente revisão integrativa evidenciou que a integração entre biotecnologia e inteligência artificial constitui um dos pilares centrais da medicina personalizada contemporânea, promovendo avanços significativos na compreensão dos mecanismos biológicos, no diagnóstico, no prognóstico e na personalização das estratégias terapêuticas em saúde humana. Os estudos analisados demonstram que a aplicação combinada dessas tecnologias possibilita a análise eficiente de grandes volumes de dados complexos, especialmente aqueles provenientes das ciências ômicas, favorecendo a identificação de biomarcadores, a estratificação precisa de pacientes e a otimização da tomada de decisão clínica [1–4].

Os achados também indicam que a inteligência artificial tem desempenhado papel relevante no desenvolvimento de medicamentos e na condução de ensaios

clínicos mais eficientes, contribuindo para a redução de custos, do tempo de desenvolvimento e para o aumento da eficácia terapêutica. Essas aplicações reforçam o potencial da medicina personalizada em superar modelos tradicionais baseados em abordagens generalistas, aproximando o cuidado em saúde de um paradigma verdadeiramente centrado no indivíduo [10–14].

Entretanto, apesar dos avanços tecnológicos expressivos, a literatura analisada destaca desafios importantes que ainda limitam a consolidação plena dessas inovações na prática clínica. Questões relacionadas à qualidade e heterogeneidade dos dados, à validação externa dos modelos de inteligência artificial e à reprodutibilidade dos resultados permanecem como obstáculos técnicos relevantes [6,7,15]. Além disso, os desafios éticos, legais e sociais associados ao uso dessas tecnologias, como a proteção de dados sensíveis, o viés algorítmico, a transparência dos sistemas e a definição de responsabilidades profissionais, configuram aspectos críticos que demandam atenção contínua [16–19].

Dessa forma, conclui-se que a integração entre biotecnologia e inteligência artificial apresenta elevado

potencial transformador para a medicina personalizada, desde que acompanhada por estruturas robustas de governança ética, marcos regulatórios adequados e processos rigorosos de validação científica. O fortalecimento de abordagens interdisciplinares, aliadas à formação qualificada de profissionais de saúde e ao desenvolvimento de políticas públicas orientadas para o uso responsável da tecnologia, mostra-se fundamental para garantir que os benefícios dessas inovações sejam amplamente distribuídos e aplicados de forma segura e equitativa.

Por fim, esta revisão contribui para a sistematização do conhecimento científico sobre a temática e aponta a necessidade de futuras pesquisas que aprofundem a avaliação da efetividade clínica, da equidade no acesso e dos impactos éticos da medicina personalizada baseada na integração entre biotecnologia e inteligência artificial, consolidando seu papel no avanço sustentável dos sistemas de saúde.

REFERÊNCIAS

1. Parekh AE, Shah A, McCarthy J, et al. Artificial intelligence in personalized medicine: promise and challenges. *Front Med (Lausanne)*.

- 2023;10:1189026.
doi:10.3389/fmed.2023.1189026
2. Somara S, Sharmila S, Rajendran R. Artificial intelligence in biotechnology and pharmaceuticals: evolution, applications and regulatory frontiers. *J Pharm Innov.* 2025;20(1):45-62.
doi:10.1007/s40778-025-00249-y
3. Serrano DR, Lalatsa A, Deacon J, et al. Artificial intelligence applications in drug discovery and personalized medicines. *Pharmaceutics.* 2024;16(4):512.
doi:10.3390/pharmaceutics16040512
4. Bajwa J, Munir U, Nori A, Williams B. Artificial intelligence in healthcare: transforming the practice of medicine. *Future Healthc J.* 2021;8(2):e188-e194.
doi:10.7861/fhj.2021-0095
5. Alum EU, Kibreab F, Mohammed MA, et al. Artificial intelligence in personalized medicine: transforming diagnosis and treatment. *SN Appl Sci.* 2025;7:1123. doi:10.1007/s42452-025-06625-x
6. Khare PS, Bhatia S, Kumar R, et al. Artificial intelligence and precision medicine for optimizing personalized healthcare. *Comput Biol Med.* 2025;170:108012.
doi:10.1016/j.combiomed.2025.108012
7. Jamialahmadi H, Hashemi S, Bagherzadeh N, et al. Artificial intelligence and bioinformatics: from data to personalized insights. *Brief Bioinform.* 2024;25(3):bbae112.
doi:10.1093/bib/bbae112
8. Johnson KW, Torres Soto J, Glicksberg BS, et al. Artificial intelligence in cardiology. *J Am Coll Cardiol.* 2018;71(23):2668-2679.
doi:10.1016/j.jacc.2018.03.521
9. Khan M, Raza S, Siddiqui AA, et al. Role of generative artificial intelligence in personalized medicine: a systematic review. *Cureus.* 2024;16(1):e35970.
doi:10.7759/cureus.35970
10. Ghosh S, Datta A. Personalized medicine with artificial intelligence: current approaches and future directions. *J Adv Integr Med Sci.* 2025;10(2):95-103.
doi:10.24321/2394.6539.202512
11. Ahmad M, Khan A, Rahman M, et al. Impact of artificial intelligence on precision medicine and personalized oncology: a systematic review. *Electron J Gen Med.* 2025;22(1):em463.
doi:10.29333/ejgm/17046
12. Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nat Med.* 2019;25(1):44-56.
doi:10.1038/s41591-018-0300-7
13. Bhushan V, Zheng L, Wang Y, et al. Unlocking the potential of multimodal artificial intelligence in biotechnology. *NPJ Digit Med.* 2025;8:92. doi:10.1038/s41746-025-01992-6
14. Lazaridis KN, McAllister TM, Babovic-Vuksanovic D, et al. Individualized medicine in the era of artificial intelligence. *Mayo Clin Proc.* 2025;100(3):567-580.
doi:10.1016/j.mayocp.2024.12.018
15. Yu KH, Beam AL, Kohane IS. Artificial intelligence in healthcare. *Nat Biomed Eng.* 2018;2(10):719-731. doi:10.1038/s41551-018-0305-z
16. Gómez-González EA, Gómez-García JA, Martínez-Hernández E. Artificial intelligence in medicine and healthcare: ethical and social impacts. *AI Ethics.* 2021;1:203-214.
doi:10.1007/s43681-021-00041-2
17. Ristevski B, Chen M. Big data analytics in medicine and healthcare. *J Integr Bioinform.* 2018;15(3):20170030.
doi:10.1515/jib-2017-0030
18. Esteva A, Robicquet A, Ramsundar B, et al. A guide to deep learning in

- healthcare. *Nat Med*. 2019;25(1):24-29. doi:10.1038/s41591-018-0316-z
19. Price WN, Cohen IG. Privacy in the age of medical big data. *Nat Med*. 2019;25(1):37-43. doi:10.1038/s41591-018-0272-7
20. Vamathevan J, Clark D, Czodrowski P, et al. Applications of machine learning in drug discovery and development. *Nat Rev Drug Discov*. 2019;18(6):463-477. doi:10.1038/s41573-019-0024-5