

CARDIOLOGIA

TEORIA E PRÁTICA

EDIÇÃO XXVII

Capítulo 27

IMPACTO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E SAÚDE DIGITAL: DIAGNÓSTICO E TOMADA DE DECISÃO NA CARDIOLOGIA

GIOVANNA BIONDILLO MORAIS DELGADO¹
BEATRIZ LOUREIRO TAMARINDO DAMIANI¹
BELINDA ALINA ROSAS ZAPANA¹
FELIPE TOROHARA SANTOS¹
GABRIEL ALENCAR ALMEIDA BARROS¹
GABRIELLE RODRIGUES PONTES LIMA¹
GIULI MICCHELLI ANDRADE SCOCULI¹
GUSTAVO GOMES DE ARAÚJO¹
LETÍCIA RODRIGUES BOSCO¹
LUISA VILARINHO DE VASCONCELOS¹
MARIA CLARA LIMA PIVETA¹
MARIA EDUARDA DE FREITAS TAVARES¹
MARIA FERNANDA OLIVEIRA LISBOA¹
MARIANA DE MORAIS LERMA¹
MAURÍCIO MORENO FONSECA¹

1. Discentes – Medicina na Universidade Nove de Julho Campus Vergueiro.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Saúde Digital; Cardiologia.

DOI

10.59290/9225002652

EP EDITORA
PASTEUR

INTRODUÇÃO

Atualmente, as doenças cardiovasculares seguem sendo a principal causa de mortalidade no mundo, demonstrando a necessidade de estratégias inovadoras para melhorar as formas de prevenção, diagnóstico e tratamento. Sob esta perspectiva, a inteligência artificial tem se mostrado extremamente promissora na área da cardiologia, tendo em vista que melhora a capacidade de diagnóstico, a acurácia terapêutica e o processamento de grandes volumes de dados coletados diariamente (NZEAKO *et al.*, 2025; WIENEKE; VOIGT, 2024).

A cardiologia abrange uma área da medicina voltada principalmente para condições que afetam o coração e diversos vasos sanguíneos, como a doença cardíaca isquêmica, insuficiência cardíaca, infarto agudo do miocárdio e arritmias cardíacas. Em razão de sua complexidade, o diagnóstico e as formas de tratamento de doenças cardiovasculares são abrangentes (NZEAKO *et al.*, 2025; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Nesse contexto, a inteligência artificial entra como uma ferramenta para auxiliar na confirmação diagnóstica e manejo clínico, fornecendo diversas possibilidades de descobertas e pesquisas baseadas em dados, além de colaborar na análise de exames laboratoriais e de imagem (KHERA *et al.*, 2024; NZEAKO *et al.*, 2025; LONCARIC *et al.*, 2021).

A inteligência artificial tem se mostrado muito presente em análises de eletrocardiogramas, sendo aplicada com o objetivo de facilitar cada etapa do processo de imagem, incluindo aquisição de imagens, análise e relatórios de forma mais produtiva. Além disso, também vem sendo empregada na avaliação de tomografia computadorizada, ressonância magnética e anestesiologia cardíaca, auxiliando cada vez mais na tomada de uma decisão clínica. Ademais, a inteligência artificial e a saúde digital se

mostram cada vez mais propícias para monitorar o paciente, colaborar em cuidados intensivos e tratamentos ambulatoriais (BOZYEL *et al.*, 2024; KHERA *et al.*, 2024; LONCARIC *et al.*, 2021).

Dessa forma, é relevante notar que, além do auxílio diagnóstico, essas tecnologias têm modificado significativamente a tomada de decisão, permitindo condutas mais rápidas e muitas vezes baseadas em grandes quantidades de dados. Assim, este material aborda a forma como a inteligência artificial é aplicada na cardiologia diariamente, explorando sistemas de suporte à decisão clínica, desafios éticos, saúde digital e discutindo obstáculos como a falta de transparência de alguns algoritmos (KHERA *et al.*, 2024; NZEAKO *et al.*, 2025; WIENEKE; VOIGT, 2024).

O objetivo deste estudo foi analisar criticamente a aplicação da inteligência artificial e da saúde digital na cardiologia contemporânea, discutindo como essas tecnologias vêm contribuindo para a prevenção, o aprimoramento do diagnóstico, o monitoramento e o manejo das doenças cardiovasculares, bem como para a otimização da tomada de decisão clínica. Para isso, pretende-se revisar as principais aplicações da inteligência artificial na prática cardiológica, abordando a utilização de sistemas de suporte à decisão clínica, algoritmos de aprendizado de máquina, modelos de *deep learning*, dispositivos vestíveis (*wearables*), monitoramento remoto e outras ferramentas digitais que auxiliam na interpretação de exames, na identificação precoce de alterações cardiovasculares e no aperfeiçoamento da assistência ao paciente.

Além disso, o capítulo busca discutir a aplicação dessas tecnologias nas principais doenças cardiovasculares, evidenciando sua contribuição para o aprimoramento da precisão diagnóstica, da avaliação clínica e da definição de condutas terapêuticas, favorecendo interven-

ções mais precoces e maior eficiência na prática clínica.

Por fim, objetiva-se promover uma reflexão crítica sobre os desafios técnicos, éticos, regulatórios e profissionais envolvidos na implementação dessas tecnologias, enfatizando aspectos relacionados à transparência dos algoritmos, à segurança, à privacidade dos dados, à validação clínica e à indispensabilidade do julgamento médico, reforçando o papel da inteligência artificial como ferramenta complementar ao cardiologista na promoção de uma assistência cardiovascular segura, ética e baseada em evidências.

MÉTODO

Trata-se de uma revisão bibliográfica sobre o impacto da inteligência artificial (IA) e da saúde digital na otimização da tomada de decisão e do diagnóstico na rotina cardiológica atual. Optou-se por esse método por permitir reunir, de forma qualitativa, um conjunto amplo e atualizado de evidências sobre um tema em constante evolução tecnológica, possibilitando uma visão abrangente dos benefícios e desafios da inteligência artificial aplicada à cardiologia. A busca foi realizada na base de dados PubMed, utilizando os descritores "*Artificial Intelligence*", "*Cardiology*", "*Digital Health*", "*Clinical Decision Support Systems*" e "*Cardiovascular Diagnostic Techniques*", os quais foram sistematicamente combinados por meio de operadores booleanos estruturados. Foram selecionados estudos publicados em inglês entre 2019 e 2025 que abordassem a aplicação da inteligência artificial e da saúde digital na cardiologia. Com o intuito de refinar a amostra, foram excluídas cartas ao editor, artigos de opinião, editoriais e pesquisas que não disponibilizaram dados clínicos primários ou análises robustas. Após a aplicação dos critérios de seleção, restaram 18 artigos, os quais foram

submetidos à leitura minuciosa para a coleta de dados, o que permite que a busca seja replicada por outros leitores ou em revisões futuras sobre o tema. Cada artigo selecionado foi analisado quanto ao objetivo, à contribuição para o diagnóstico, à aplicação no manejo clínico e às principais conclusões, fornecendo base para a discussão apresentada neste capítulo. Entre os métodos e ferramentas descritas pela literatura consultada, destacam-se as redes neurais convolucionais (CNN) e modelos de *deep learning* aplicados à análise de exames de imagem (ecocardiogramas e ressonâncias) e à interpretação de eletrocardiogramas para a detecção precoce de arritmias e fibrilação atrial, além do uso de dispositivos *wearables* integrados a algoritmos para monitoramento clínico remoto e contínuo de sinais vitais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sistemas de suporte à decisão clínica

A inteligência artificial e a saúde digital estão deixando de ser ferramentas acessórias para se tornarem um apoio prático à tomada de decisão e ao diagnóstico em cardiologia, sobretudo quando há grande volume de dados, necessidade de estratificação de risco e exigência de respostas rápidas. Em conjunto, os dois artigos mostram que esses recursos já ajudam a interpretar eletrocardiogramas, ecocardiogramas, ressonâncias e outros dados clínicos, com potencial para tornar a assistência mais precisa, personalizada e eficiente (BOULIF *et al.*, 2023; KHERA *et al.*, 2024; PEREZ *et al.*, 2019).

Na cardiologia atual, o valor central da inteligência artificial está em organizar e analisar dados complexos que o cérebro humano não consegue processar com a mesma velocidade ou escala, como imagens, sinais fisiológicos, prontuários eletrônicos e dados de monitoramento remoto. Isso permite apoiar o diagnóstico precoce de doenças cardiovasculares, identi-

ficar padrões sutis em exames e prever eventos adversos antes que eles se manifestem clinicamente. Destaca-se que inteligência artificial já atua em diagnóstico, decisão clínica e precisão procedimental na cardiologia aintervencionista, além disso, também é usado em rastreamento de fibrilação atrial, insuficiência cardíaca, cardiomiopatias, hipertensão pulmonar e doença arterial coronariana (KHERA *et al.*, 2024; NZEAKO *et al.*, 2025; WIENEKE & VOIGT, 2024).

Os sistemas de suporte à decisão clínica baseados em inteligência artificial funcionam melhor quando integram dados do paciente aos fluxos de trabalho do serviço e entregam recomendações acionáveis no momento certo. Na prática, isso pode significar alertar sobre risco de isquemia, sugerir maior vigilância em um paciente com pior perfil prognóstico ou auxiliar na escolha terapêutica com base em padrões aprendidos a partir de grandes bases de dados. Os artigos também mostram que esses sistemas são mais úteis quando combinam aprendizado de máquina, análise de imagens e interoperabilidade com prontuários eletrônicos, em vez de operar como ferramentas isoladas (LONCARIC *et al.*, 2021; NZEAKO *et al.*, 2025; SANDEEP *et al.*, 2024).

A principal contribuição da inteligência artificial no diagnóstico cardiológico está na capacidade de detectar sinais discretos e padronizar interpretações, reduzindo variabilidade entre observadores. Nos eletrocardiogramas, por exemplo, algoritmos podem identificar arritmias, risco de fibrilação atrial e disfunção ventricular mesmo quando o traçado convencional parece pouco sugestivo. Em imagem, a inteligência artificial melhora a análise de ecocardiografia, tomografia e ressonância, ajudando na segmentação, na avaliação de função cardíaca e na caracterização de lesões ou estruturas valvares. Isso não substitui o cardio-

logista, mas amplia a capacidade de triagem e de reconhecimento precoce de casos complexos (KHERA *et al.*, 2024; LONCARIC *et al.*, 2021; MHAMDI *et al.*, 2022; NAKAMURA; SASANO, 2022).

A saúde digital amplia esse impacto ao levar o cuidado para fora do hospital, com *wearables*, monitoramento remoto e análise contínua de parâmetros clínicos. Foi apontado que essa integração pode ser benéfica para auxiliar na detecção precoce da piora clínica precocemente, acompanhar arritmias e apoiar pacientes com risco cardiovascular elevado de modo mais longitudinal. Em cenários de alta demanda, isso favorece um acompanhamento mais proativo e pode reduzir atrasos diagnósticos e internações evitáveis (BOZYEL *et al.*, 2024; BURGOS *et al.*, 2024; PEREZ *et al.*, 2019).

Em síntese, a inteligência artificial e a saúde digital tendem a remodelar a rotina cardiológica ao combinar diagnóstico mais rápido, estratificação de risco mais fina, monitoramento contínuo e decisões mais personalizadas. O maior ganho esperado não é apenas automatizar tarefas, mas aumentar a segurança, a eficiência e a precisão da prática clínica sem perder a centralidade do médico e do paciente (BOZYEL *et al.*, 2024, NZEAKO *et al.*, 2025).

Aplicabilidade da Inteligência Artificial na Cardiologia

Nas últimas duas décadas, a cardiologia tem vivenciado uma transformação progressiva impulsionada pelo avanço das tecnologias digitais e, mais recentemente, pela consolidação da inteligência artificial (IA) como ferramenta de apoio à prática clínica. As doenças cardiovasculares continuam liderando as estatísticas de mortalidade em todo o mundo, e esse cenário impõe a necessidade de estratégias cada vez mais precisas para diagnóstico precoce, estratificação de risco e individualização do trata-

mento. Nesse contexto, a inteligência artificial surge não como uma substituição ao raciocínio médico, mas como um recurso complementar capaz de processar e integrar volumes massivos de dados com velocidade e acurácia que excedem a capacidade humana isolada (KHERA *et al.*, 2024; NZEAKO *et al.*, 2025; WIENEKE & VOIGT, 2024).

A aplicação da inteligência artificial no diagnóstico cardiovascular tem ganhado espaço sobretudo pela sua capacidade de reconhecer padrões sutis em exames amplamente utilizados na rotina. A interpretação automatizada do eletrocardiograma é um dos exemplos mais emblemáticos. Algoritmos baseados em redes neurais convolucionais têm sido treinados para identificar arritmias, distúrbios de condução e sinais de isquemia miocárdica com desempenho comparável ao de especialistas. De forma ainda mais relevante, modelos de inteligência artificial aplicados a traçados em ritmo sinusal conseguem prever a ocorrência futura de fibrilação atrial, mesmo na ausência de manifestações clínicas evidentes. Essa detecção precoce abre a possibilidade de intervenções preventivas antes do estabelecimento de complicações tromboembólicas. Da mesma maneira, a inteligência artificial tem sido empregada para auxiliar no diagnóstico de insuficiência cardíaca e de diferentes fenótipos de cardiomiopatia, bem como na triagem de pacientes com suspeita de hipertensão pulmonar, agilizando o encaminhamento para investigação confirmatória (KHERA *et al.*, 2024; KULKARNI *et al.*, 2022; NAKAMURA; SASANO, 2022; WIENEKE; VOIGT, 2024)

Paralelamente, a cardiologia de imagem foi um dos campos que mais se beneficiou da incorporação da inteligência artificial. Exames como ecocardiografia, tomografia computadorizada cardíaca, ressonância magnética e angiotomografia coronariana geram uma quantidade

imensa de informações que, tradicionalmente, dependiam da análise manual e, portanto, estavam sujeitas à variabilidade entre observadores. Com a inteligência artificial, tornou-se possível automatizar a segmentação de câmaras cardíacas, o cálculo da fração de ejeção do ventrículo esquerdo, a análise do *strain* miocárdico e a quantificação de volumes ventriculares. Na angiotomografia, algoritmos são capazes de detectar, caracterizar e quantificar placas ateroscleróticas coronarianas, diferenciando componentes calcificados de não calcificados. Esse processo não apenas reduz o tempo necessário para a emissão de laudos, mas também aumenta a reprodutibilidade dos achados, sendo fundamental em centros de alta demanda e em estudos multicêntricos (KHERA *et al.*, 2024; NAKAMURA; SASANO, 2022; NZEAKO *et al.*, 2025; WIENEKE & VOIGT, 2024).

Outro aspecto no qual a inteligência artificial tem demonstrado grande potencial é na estratificação de risco cardiovascular. Modelos preditivos tradicionais, como os escores, utilizam um número limitado de variáveis e assumem relações lineares entre elas. Em contrapartida, sistemas de inteligência artificial conseguem integrar dados clínicos, laboratoriais, de imagem e até genéticos, identificando interações complexas e não lineares que passam despercebidas em modelos convencionais. Dessa forma, é possível estimar com maior acurácia o risco de mortalidade, de desenvolvimento de insuficiência cardíaca, de ocorrência de grandes eventos cardiovasculares adversos, de necessidade de internação e até mesmo de surgimento de fibrilação atrial. Essa abordagem permite uma medicina mais personalizada, na qual o acompanhamento e as medidas preventivas podem ser direcionados de forma mais assertiva para os indivíduos de maior risco (KHERA *et al.*, 2024; NZEAKO *et al.*, 2025; SOUZA

FILHO *et al.*, 2020; WIENEKE; VOIGT, 2024).

O avanço dos dispositivos vestíveis e da telemedicina também ampliou o papel da inteligência artificial no cuidado contínuo do paciente cardiológico. Atualmente, *smartwatches*, *patches* e aplicativos móveis são capazes de coletar dados fisiológicos em tempo real, como frequência cardíaca, ritmo, variabilidade e oximetria. Quando associados a algoritmos de inteligência artificial, esses dispositivos passam a funcionar como sistemas de alerta precoce. Eles podem identificar episódios de fibrilação atrial paroxística, detectar arritmias ventriculares e até sinalizar sinais de descompensação em pacientes com insuficiência cardíaca. Esse monitoramento remoto contínuo tem o potencial de reduzir internações hospitalares, otimizar o manejo ambulatorial e oferecer maior segurança ao paciente fora do ambiente hospitalar (BOZYEL *et al.*, 2024; BURGOS *et al.*, 2024; KHERA *et al.*, 2024; PEREZ *et al.*, 2019).

No campo terapêutico e intervencionista, a inteligência artificial também vem sendo incorporada de maneira progressiva. No planejamento de procedimentos estruturais, como a implantação valvar aórtica transcaterter (TAVR), a reconstrução tridimensional da raiz aórtica auxiliada por inteligência artificial permite a escolha mais precisa do tamanho da prótese e a previsão de complicações como bloqueio atrioventricular. De forma semelhante, no contexto da doença arterial coronariana, a inteligência artificial auxilia no planejamento do implante de stents, analisando a anatomia coronariana e estimando o resultado funcional após a intervenção. Além disso, a integração de dados clínicos e genéticos por meio de inteligência artificial viabiliza a prática da medicina de precisão, na qual a escolha do tratamento farmacológico e do tipo de dispositivo é feita de

maneira individualizada, com base no perfil de cada paciente (NZEAKO *et al.*, 2025; SANDEEP *et al.*, 2024; THANGARAJ *et al.*, 2024).

Talvez a aplicação mais transversal da inteligência artificial na cardiologia esteja na consolidação dos Sistemas de Apoio à Decisão Clínica, conhecidos como *Clinical Decision Support Systems* (CDSS). Esses sistemas funcionam como um cérebro auxiliar que integra informações dispersas no prontuário eletrônico: resultados de exames laboratoriais, achados de exames de imagem, traçados de ECG, histórico clínico detalhado e, cada vez mais, dados genéticos. A partir dessa integração, o CDSS gera recomendações baseadas nas diretrizes mais atuais, como as da Sociedade Europeia de Cardiologia e do *American College of Cardiology/American Heart Association*, alertando para possíveis interações medicamentosas, sugerindo condutas diagnósticas e apoiando a escolha terapêutica. É fundamental ressaltar que esses sistemas não têm a pretensão de substituir o julgamento clínico do cardiologista. Pelo contrário, seu objetivo é oferecer suporte, reduzir vieses cognitivos e padronizar condutas, especialmente em cenários de alta complexidade (BOZYEL *et al.*, 2024; KHERA *et al.*, 2024; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Saúde digital e prevenção cardiovascular

As doenças cardiovasculares permanecem como principal causa de mortalidade no mundo, sendo necessário buscar estratégias capazes de ampliar na prevenção, no diagnóstico precoce e acompanhamento dos indivíduos em risco. Nesse contexto, a saúde digital, associada à inteligência artificial (IA), vem modificando a abordagem cardiovascular ao possibilitar a coleta contínua de dados, a identificação de padrões clínicos e a estratificação individualizada do risco cardiovascular (KHERA *et al.*, 2024;

NZEAKO *et al.*, 2025; WIENEKE; VOIGT, 2024).

A inteligência artificial apresenta potencial relevante na prevenção cardiovascular por sua capacidade de integrar grandes volumes de dados clínicos, laboratoriais, de imagem e, em determinadas aplicações, genéticos. Diferentemente de modelos tradicionais de estratificação de risco, os algoritmos de aprendizado de máquina podem identificar relações complexas entre diferentes variáveis, contribuindo para estimar o risco de mortalidade, insuficiência cardíaca, eventos cardiovasculares maiores, hospitalizações e fibrilação atrial. Dessa maneira, indivíduos com maior risco podem ser identificados precocemente e direcionados para acompanhamento e intervenções preventivas mais individualizadas (KHERA *et al.*, 2024; NZEAKO *et al.*, 2025; THANGARAJ *et al.*, 2024; WIENEKE; VOIGT, 2024).

A aplicação da inteligência artificial também tem se destacado na análise de eletrocardiogramas e exames de imagem. Algoritmos podem reconhecer arritmias, distúrbios de condução e alterações relacionadas à função cardíaca, além de identificar padrões associados ao desenvolvimento futuro de fibrilação atrial mesmo na ausência de manifestações clínicas evidentes. Essa capacidade amplia o potencial da cardiologia preventiva ao permitir a identificação de alterações subclínicas antes da ocorrência de eventos cardiovasculares (BOULIF *et al.*, 2023; KHERA *et al.*, 2024; NAKAMURA; SASANO, 2022; PEREZ *et al.*, 2019).

Os dispositivos vestíveis e os *smartphones* representam uma das principais aplicações da saúde digital no acompanhamento cardiovascular. *Smartwatches*, *patches* e aplicativos podem coletar continuamente informações como frequência cardíaca, ritmo cardíaco, variabilidade da frequência cardíaca e oximetria. Quando associados a algoritmos de inteligência artificial,

esses dispositivos podem identificar alterações fisiológicas, reconhecer padrões de risco e emitir alertas precoces, favorecendo o acompanhamento longitudinal de indivíduos com maior risco cardiovascular (BOZYEL *et al.*, 2024; BURGOS *et al.*, 2024; PEREZ *et al.*, 2019).

Essa abordagem apresenta especial relevância em condições que podem apresentar manifestações intermitentes ou quadros de deterioração progressiva, como fibrilação atrial e insuficiência cardíaca. No contexto da insuficiência cardíaca, o monitoramento remoto pode contribuir para a identificação precoce de sinais de descompensação, possibilitando intervenções antes da evolução para quadros mais graves e com potencial para contribuir para a redução de hospitalizações evitáveis (BOZYEL *et al.*, 2024; BURGOS *et al.*, 2024; PEREZ *et al.*, 2019).

Além disso, a utilização de *smartphones* amplia a possibilidade de acompanhamento fora do ambiente hospitalar. Estudos preliminares descritos no presente material demonstraram que aplicativos capazes de estimar parâmetros cardiovasculares, como pressão arterial, frequência cardíaca, apresentam potencial para facilitar o monitoramento remoto e otimizar o manejo ambulatorial. Entretanto, a incorporação dessas tecnologias à prática clínica exige validação em estudos maiores e em diferentes populações (BURGOS *et al.*, 2024; KHERA *et al.*, 2024).

Apesar do potencial da saúde digital para uma cardiologia mais preventiva e personalizada, sua implementação ainda apresenta desafios relacionados à qualidade e representatividade dos dados, vieses algorítmicos, validação externa, transparência dos modelos, privacidade e segurança das informações. A utilização dessas ferramentas deve, portanto, estar associada à avaliação crítica de sua validade clínica e apli-

habilidade em diferentes populações (BOZYL *et al.*, BURGOS *et al.*, 2024; KHERA *et al.*, 2024).

Nesse cenário, a tecnologia deve ser compreendida como um instrumento complementar à atuação médica. A integração entre dados digitais, inteligência artificial e julgamento clínico pode favorecer uma cardiologia mais preditiva, preventiva, individualizada, sem substituir a avaliação médica. A capacitação dos profissionais, colaboração entre médicos, cientistas de dados, engenheiros e demais áreas envolvidas são fundamentais para que essas ferramentas sejam incorporadas de maneira segura, ética, baseada em evidências (BOZYL *et al.*, 2024; KHERA *et al.*, 2024; NZEAKO *et al.*, 2025; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Principais condições mapeadas pela IA e saúde digital

Diversos artigos analisados estudaram a saúde cardiovascular em relação a dispositivos *wearables* (como *smartwatches*), que são aqueles vestíveis e capazes de acompanhar o paciente continuamente, detectando parâmetros de relevância clínica, inclusive com o paciente em repouso ou dormindo. A relevância é enorme para a prática médica, por serem dispositivos que realizam detecções de forma contínua, associados ao uso da inteligência artificial, possuem a habilidade de realizar previsões, detectar predisposição, fatores de risco e disparar alertas quando necessário. As principais condições incluem: doença arterial coronariana (DAC), fibrilação atrial, insuficiência cardíaca, valvopatias, cardiomiopatias, infarto agudo do miocárdio, doença cardíaca isquêmica e hipertensão arterial (BOZYL *et al.*, 2024; LEDZIŃSKI; GRZEŚK, 2023; NZEAKO *et al.*, 2025; PEREZ *et al.*, 2019; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Sendo de suma importância detectar alterações fisiológicas (por meio do monitoramento remoto contínuo pelos dispositivos *wearables*) que podem indicar agravos ou fatores de risco à saúde cardiovascular. Deste modo, foi constatado que o uso de modelos preditivos de inteligência artificial (como modelos de sobrevivência de aprendizado de máquina) demonstraram superioridade para estimar o risco e prever a ocorrência de eventos cardiovasculares futuros. Com isso, a inteligência artificial otimiza o acompanhamento clínico, contribuindo para intervenções mais precoces e potencialmente melhores resultados para os pacientes (BURGOS *et al.*, 2024; NZEAKO *et al.*, 2025; KHERA *et al.*, 2024; PEREZ *et al.*, 2019).

A aplicação móvel foi capaz de medir a pressão arterial e a frequência cardíaca com precisão semelhante aos métodos convencionais em pacientes com insuficiência cardíaca. Desse modo, essa tecnologia pode futuramente melhorar o acompanhamento remoto, facilitar a titulação das medicações que modificam o prognóstico, reduzir deslocamentos desnecessários e otimizar o manejo clínico desses pacientes. Entretanto, destaca-se que esses resultados são preliminares e precisam ser confirmados em estudos com amostras maiores antes da incorporação rotineira na prática clínica (BURGOS *et al.*, 2024; GRINÉ *et al.*, 2025; KHERA *et al.*, 2024; PEREZ *et al.*, 2019).

A cardiologia lida diariamente com uma quantidade massiva de dados clínicos complexos. O uso de *Machine Learning* (ML) e *Deep Learning* (DL) surge como uma ferramenta essencial para processar esse volume computacional, permitindo que os cardiologistas extraiam novos conhecimentos, descubram biomarcadores de doenças e tomem decisões mais precisas e eficientes (LONCARIC *et al.*, 2021; NZEAKO *et al.*, 2025; WIENEKE; VOIGT, 2024).

A união da inteligência artificial com dispositivos *wearables* e *smartphones* viabiliza uma triagem cardiovascular de baixo custo, massiva e altamente escalável. Embora o treinamento dos modelos exija supercomputadores, os algoritmos finais são leves o suficiente para rodar diretamente nesses aparelhos do dia a dia, permitindo que relógios ou celulares detectem precocemente doenças graves e assintomáticas que muitas vezes passariam despercebidas, já que a inteligência artificial consegue identificar padrões subclínicos, não lineares nesses dados (GRINÉ *et al.*, 2025; KHERA *et al.*, 2024; PEREZ *et al.*, 2019; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Desafios éticos

A incorporação da inteligência artificial (IA) e da saúde digital à rotina cardiológica traz, junto com os ganhos em diagnóstico, tomada de decisão, uma série de desafios éticos, jurídicos e humanos que ainda não têm um consenso definido. Esses desafios não questionam se a tecnologia funciona ou não, mas sim como ela deve ser utilizada sem colocar em risco a segurança do paciente, seus direitos e a essência do cuidado médico (LEDZIŃSKI; GRZEŚK, 2023; SOUZA FILHO *et al.*, 2020; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Um dos principais desafios éticos relacionados à inteligência artificial em cardiologia diz respeito ao viés de dados. Como os algoritmos de aprendizado supervisionado dependem diretamente da qualidade e da representatividade dos dados de treinamento, modelos construídos a partir de amostras pouco diversas tendem a reproduzir, e até amplificar, desigualdades já existentes. Um algoritmo de classificação de exames de imagem treinado majoritariamente com dados de pacientes do sexo masculino, por exemplo, não pode ser considerado confiável quando aplicado a mulheres. Esse viés nem

sempre é evidente, podendo se manifestar de forma sutil e ser agravado pelo fato de os dados de saúde não serem estáticos, mas sujeitos a mudanças ao longo do tempo (SOUZA FILHO *et al.*, 2020; WIENEKE; VOIGT, 2024).

A segurança dos sistemas de inteligência artificial em saúde constitui outra preocupação relevante. Ataques adversariais, entradas maliciosas propositalmente elaboradas para induzir erros de classificação, representam uma ameaça ainda pouco documentada na prática, mas considerada real pela comunidade científica, o que já motiva o desenvolvimento de contramedidas específicas. Essa vulnerabilidade não se restringe ao processamento de dados: dispositivos médicos implantáveis conectados também estão sujeitos a ataques cibernéticos. No contexto cardiológico, em que dispositivos como marca-passos e desfibriladores implantáveis são cada vez mais integrados a sistemas digitais, essa fragilidade assume caráter potencialmente fatal, reforçando a necessidade de protocolos de segurança robustos e continuamente auditados antes da implementação clínica ampla (GRINÉ *et al.*, 2025; SOUZA FILHO *et al.*, 2020; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Apesar do crescente número de estudos prospectivos com algoritmos de inteligência artificial, o padrão-ouro em medicina permanece sendo o ensaio clínico randomizado (ECR), capaz de avaliar o real impacto de determinado algoritmo sobre o desfecho clínico dos pacientes. Não basta que um sistema de inteligência artificial alcance desempenho equivalente à verdade fundamental estabelecida por especialistas; espera-se que, no contexto de um ECR, o resultado obtido com o auxílio da inteligência artificial seja igual ou superior ao alcançado exclusivamente pelo julgamento humano. Soma-se a isso o desafio da aplicabilidade: para que a inteligência artificial não se torne uma "caixa-preta" na prática médica, sendo funda-

mental que os profissionais compreendam, ao menos em seus fundamentos, a lógica de funcionamento dos algoritmos que auxiliam suas decisões. A decisão diagnóstica e terapêutica final deve permanecer sob responsabilidade do médico (CHRISTIE *et al.*, 2024; MOOSAVI *et al.*, 2024; SOUZA FILHO *et al.*, 2020).

Adicionalmente, discute-se na literatura o risco de desumanização do cuidado médico decorrente de uma dependência excessiva de sistemas automatizados, o que reforça a necessidade de que a inteligência artificial seja compreendida como ferramenta de apoio à decisão clínica, não como substituta do julgamento e da relação humana entre médico e paciente (BOZYEL *et al.*, 2024; CHRISTIE *et al.*, 2024; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Em síntese, os desafios éticos associados à inteligência artificial na cardiologia atual como vieses algorítmicos, riscos de segurança, incerteza quanto ao real impacto clínico, proteção de dados, responsabilização legal, preservação da autonomia médica, evidenciam que o avanço tecnológico deve necessariamente ser acompanhado de estruturas regulatórias sólidas, com debate ético contínuo, envolvendo desenvolvedores, profissionais de saúde, instituições e pacientes. Não se trata de obstáculos isolados, mas de dimensões interdependentes de um mesmo problema: a confiabilidade de um sistema de inteligência artificial em cardiologia depende tanto da qualidade e da representatividade dos dados utilizados em seu desenvolvimento, da robustez da segurança cibernética, da clareza das estruturas legais relacionados à responsabilização e da manutenção do julgamento médico sobre suas recomendações (SOUZA FILHO *et al.*, 2020; LEDZIŃSKI; GRZEŚK, 2023; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Cabe destacar que esses desafios não configuram razão para rejeitar a incorporação da inteligência artificial à prática cardiológica,

mas sim para conduzi-la de forma criteriosa e gradual. Nesse processo, a formação ética dos futuros médicos assume papel central: compreender os fundamentos, as limitações e os riscos dos algoritmos que auxiliarão o raciocínio clínico é condição indispensável para que a inteligência artificial seja empregada como instrumento de apoio à decisão, não como substituta da responsabilidade médica (BOZYEL *et al.*, 2024; CHRISTIE *et al.*, 2024; MOOSAVI *et al.*, 2024; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Dessa forma, a superação dos desafios éticos dependerá menos da sofisticação técnica dos algoritmos e mais da capacidade de médicos, desenvolvedores, instituições de saúde e órgãos reguladores construírem, de maneira colaborativa, um modelo de governança que equilibre inovação, segurança e respeito à autonomia e à dignidade do paciente (SOUZA FILHO *et al.*, 2020; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Discussão

A literatura disponível evidencia que a incorporação da inteligência artificial (IA) à prática cardiológica apresenta potencial significativo com o intuito de ampliar a acurácia diagnóstica e otimizar os processos de tomada de decisão clínica, particularmente na interpretação de eletrocardiogramas e na análise de exames de imagem cardiovascular. No entanto, apesar dos avanços observados, a heterogeneidade metodológica entre os estudos, a dependência da qualidade, representatividade e diversidade dos conjuntos de dados empregados no treinamento, validação dos algoritmos impõem limitações relevantes à generalização, reprodutibilidade desses modelos em diferentes contextos clínicos e populações (GRINÉ *et al.*, 2025; NZEAKO *et al.*, 2025; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Dentre a literatura, o potencial da inteligência artificial como ferramenta de auxílio à decisão clínica na cardiologia, particularmente na análise automatizada de imagens de eletrocardiogramas. No entanto, os autores ressaltam que o desempenho dos algoritmos está diretamente relacionado à qualidade das imagens analisadas, uma vez que perdas significativas de informação podem comprometer a acurácia diagnóstica e a confiabilidade das predições (KHERA *et al.*, 2024; MHAMDI *et al.*, 2022; WIENEKE; VOIGT, 2024).

Em consonância, foi avaliado a aplicação da inteligência artificial na interpretação de registros de monitorização eletrocardiográfica ambulatorial e verificaram que, embora os sistemas baseados em inteligência artificial apresentassem elevada concordância com a análise especializada na maioria dos casos, algumas interpretações mostraram-se incompletas, especialmente em situações de maior complexidade clínica. Esses achados reforçam, apesar da elevada precisão alcançada pelos algoritmos, sua utilização ainda demanda validação por profissionais capacitados, uma vez que eventuais omissões ou interpretações parciais podem comprometer a tomada de decisão clínica (BOULIF *et al.*, 2023; KHERA *et al.*, 2024; NZEAKO *et al.*, 2025).

Dessa forma, a aplicação da inteligência artificial mostra-se mais apropriada em exames que apresentem adequada qualidade técnica, enquanto casos mais complexos ou que envolvam imagens com limitações relevantes demandam interpretação especializada pelo médico a fim de garantir maior segurança, confiabilidade e qualidade diagnóstica, reforçando a expertise médica, o caráter complementar dessas tecnologias no cotidiano hospitalar

(NZEAKO *et al.*, 2025; WIENEKE; VOIGT, 2024).

CONCLUSÃO

Sob essa ótica, a inteligência artificial e a saúde digital destacam-se como ferramentas inovadoras na cardiologia contemporânea, possibilitando ampliar a precisão diagnóstica, otimizar a tomada de decisão e viabilizar o monitoramento contínuo dos pacientes. O avanço dessas tecnologias na análise de exames, na identificação precoce de arritmias, na estratificação de risco oferece um suporte importante para o manejo de patologias de alta prevalência, mortalidade, como a doença arterial coronariana e a insuficiência cardíaca.

Entretanto, a incorporação ampla e segura dessas inovações exige a superação de obstáculos éticos, técnicos e regulatórios. A eficácia prática dos modelos preditivos e dos dispositivos wearables depende da mitigação de vieses nos bancos de dados de treinamento, da garantia da transparência, do fortalecimento da segurança cibernética, da aplicabilidade dos algoritmos (superando o dilema da “caixa preta”), validação clínica por meio de ensaios clínicos controlados que comprovem ganhos reais nos desfechos dos pacientes.

Dessa forma, a inteligência artificial e as tecnologias de saúde digital devem ser compreendidas como ferramentas complementares à atividade médica, e não como substitutas do raciocínio humano. Diante da complexidade intrínseca às doenças cardiovasculares, a supervisão e o julgamento clínico do cardiologista permanecem indispensáveis para garantir uma assistência ética, personalizada e centrada na segurança do paciente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOULIF, A. *et al.* A literature review: ECG-based models for arrhythmia diagnosis using artificial intelligence techniques. *Bioinformatics and Biology Insights*, v. 17, p. 11779322221149600, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1177/11779322221149600>.
- BURGOS, L. M. *et al.* Evaluation of vital signs through a mobile application in patients with heart failure: an opportunity for remote titration? *Archivos de Cardiología de México*, v. 94, p. 86-94, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24875/ACM.23000045>.
- BOZYEL, S. *et al.* Artificial intelligence-based clinical decision support systems in cardiovascular diseases. *Anatolian Journal of Cardiology*, v. 28, p. 74-86, 2024. DOI: <https://doi.org/10.14744/AnatolJCardiol.2024.12345>.
- CHRISTIE, S. *et al.* Artificial intelligence in cardiology research: how to upskill. *Canadian Journal of Cardiology*, v. 40, p. 1322-1325, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cjca.2024.05.012>.
- GRINÉ, M. *et al.* Digital health in cardiovascular medicine: an overview of key applications and clinical impact by the Portuguese Society of Cardiology Study Group on Digital Health. *Revista Portuguesa de Cardiologia*, v. 44, p. 107-119, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.repc.2024.12.005>.
- KHERA, R. *et al.* Transforming cardiovascular care with artificial intelligence: from discovery to practice: JACC state-of-the-art review. *Journal of the American College of Cardiology*, v. 84, p. 97-114, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2024.05.001>.
- KULKARNI, P. *et al.* The emergence of artificial intelligence in cardiology: current and future applications. *Current Cardiology Reviews*, v. 18, e191121198124, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2174/1573403X18666211191121198124>.
- LEDZIŃSKI, Ł.; GRZEŚK, G. Artificial intelligence technologies in cardiology. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, v. 10, p. 202, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcdd10040202>.
- LONCARIC, F. *et al.* Integration of artificial intelligence into clinical patient management: focus on cardiac imaging. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*, v. 74, p. 72-80, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rec.2020.07.012>.
- MHAMDI, L. *et al.* Artificial intelligence for cardiac diseases diagnosis and prediction using ECG images on embedded systems. *Biomedicines*, v. 10, p. 2013, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines10082013>.
- MOOSAVI, A. *et al.* Prospective human validation of artificial intelligence interventions in cardiology: a scoping review. *JACC: Advances*, v. 3, p. 101202, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaccadv.2024.101202>.
- NAKAMURA, T.; SASANO, T. Artificial intelligence and cardiology: current status and perspective. *Journal of Cardiology*, v. 79, p. 326-333, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jjcc.2021.11.004>.
- NZEAKO, T. R. *et al.* Artificial intelligence in interventional cardiology: a review of its role in diagnosis, decision-making, and procedural precision. *Annals of Medicine and Surgery (London)*, v. 87, p. 5720-5734, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000005720>.
- PEREZ, M. V. *et al.* Large-scale assessment of a smartwatch to identify atrial fibrillation. *New England Journal of Medicine*, v. 381, p. 1909-1917, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1901183>.
- SANDEEP, B. *et al.* Feasibility of artificial intelligence: its current status, clinical applications, and future direction in cardiovascular disease. *Current Problems in Cardiology*, v. 49, p. 102349, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2024.102349>.
- SOUZA FILHO, E. M. *et al.* Ethics, artificial intelligence and cardiology. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 115, p. 579-583, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36660/abc.20200123>.
- THANGARAJ, P. M. *et al.* Cardiovascular care with digital twin technology in the era of generative artificial intelligence. *European Heart Journal*, v. 45, p. 4808-4821, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehae123>.
- WIENEKE, H.; VOIGT, I. Principles of artificial intelligence and its application in cardiovascular medicine. *Clinical Cardiology*, v. 47, p. 24148, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/clc.24148>.