

PAPEL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE MALFORMAÇÕES FETAIS POR ULTRASSONOGRAFIA

Bruna Vieira Neves Nazario¹

Júlia Isis Silva Saffi²

Maria Fernanda Hartwich Costa Martins³

Vitor Quinelato Carvalho⁴

Márcio José Rosa Requeijo⁵

RESUMO: A inteligência artificial (IA) tem se destacado como ferramenta capaz de aprimorar a ultrassonografia pré-natal, especialmente na detecção de malformações fetais. Estudos recentes demonstram que modelos de aprendizado profundo alcançam maior sensibilidade, especificidade e acurácia em comparação ao exame convencional, com resultados expressivos na triagem de cardiopatias congênitas, como comunicação interventricular, tetralogia de Fallot e coarctação da aorta, e na identificação de anomalias do sistema nervoso central. Plataformas integradas, como o sistema HeartAssist, já reportam acerto superior a 98% na análise de estruturas cardíacas. Apesar do potencial, permanecem desafios relacionados à heterogeneidade das bases de dados, à necessidade de validação multicêntrica e a questões éticas e de privacidade. Conclui-se que a IA representa recurso promissor para padronizar e ampliar o diagnóstico pré-natal, oferecendo suporte valioso ao especialista e contribuindo para melhores desfechos perinatais.

5114

Palavras-chave: Ultrassonografia. Inteligência Artificial. Anormalidades congênitas.

ABSTRACT: Artificial intelligence (AI) has emerged as a valuable tool to enhance prenatal ultrasonography, particularly in the detection of fetal malformations. Recent studies show that deep learning models achieve higher sensitivity, specificity, and accuracy compared with conventional approaches, with notable results in screening for congenital heart defects such as ventricular septal defect, tetralogy of Fallot, and aortic coarctation, as well as in identifying central nervous system anomalies. Integrated platforms, such as the HeartAssist system, have already reported accuracy rates above 98% in cardiac structure analysis. Despite its potential, challenges remain, including heterogeneous datasets, the need for multicenter validation, and ethical and privacy concerns. In conclusion, AI represents a promising resource to standardize and expand prenatal diagnosis, providing valuable support to specialists and contributing to improved perinatal outcomes.

Keywords: Ultrasonography. Artificial Intelligence. Congenital Abnormalities.

¹Acadêmico de medicina – Faminas, BH.

²Acadêmico de medicina – Faminas, BH.

³Acadêmico de medicina – Faminas, BH.

⁴Acadêmico de medicina – Faminas, BH.

⁵Professor da instituição Faminas – BH. Professor orientador.

INTRODUÇÃO

As malformações congênitas configuram importante causa de morbimortalidade perinatal e neonatal, com impacto clínico e socioeconômico significativo. A ultrassonografia pré-natal, por sua natureza não invasiva e ampla disponibilidade, constitui-se no método de triagem mais empregado para sua detecção. Contudo, a acurácia diagnóstica permanece diretamente condicionada à experiência do examinador e à qualidade das imagens adquiridas, o que impõe limitações relevantes à prática clínica (PATEY et al., 2024).

Nesse contexto, a inteligência artificial (IA), em especial os modelos de deep learning, tem se consolidado como ferramenta promissora na análise automatizada de exames ultrassonográficos. Evidências recentes demonstram que algoritmos treinados em grandes bases de dados multicêntricas e criteriosamente anotadas apresentam desempenho superior às estratégias convencionais, com ganhos consistentes em sensibilidade, especificidade e acurácia diagnóstica (NURMAINI et al., 2021; ZHANG et al., 2024).

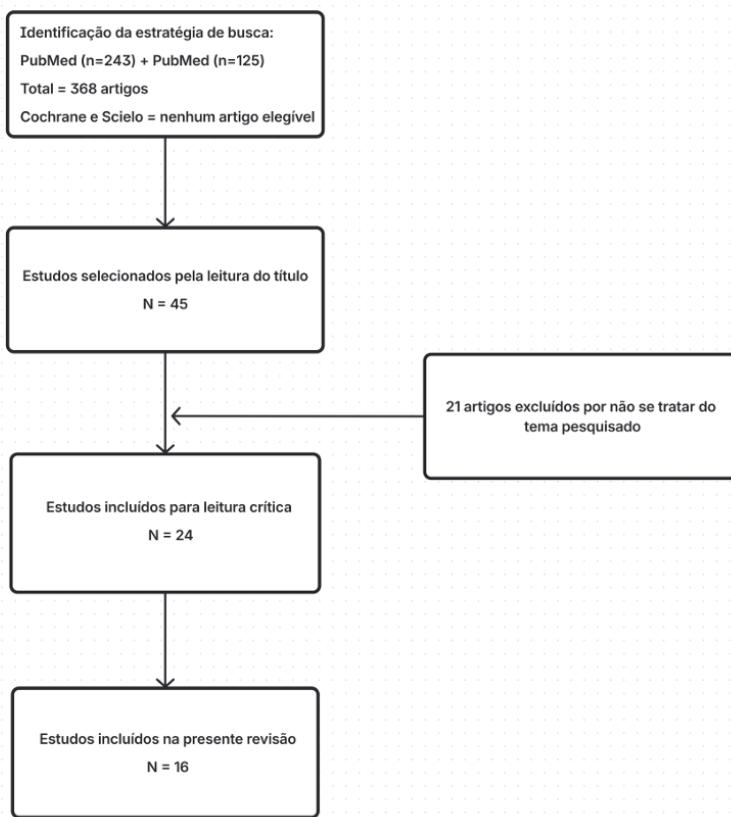
Aplicações práticas têm reforçado esse potencial. Athalye et al. (2024) evidenciaram que o emprego de modelos de deep learning elevou substancialmente a sensibilidade na triagem de cardiopatias congênitas em comparação ao rastreamento clínico isolado. Kim et al. (2025), por meio da plataforma HeartAssist, reportaram taxas de sucesso superiores a 98% na anotação de estruturas cardíacas, enquanto Day et al. (2025) demonstraram que a extração automatizada de cliques ultrassonográficos possibilita revisões remotas com incremento da detecção diagnóstica. Outras investigações, como as de Taksoee-Vester et al. (2024) e Li et al. (2024), apontam para o papel da IA na triagem de defeitos cardíacos complexos e no suporte a examinadores menos experientes, ampliando a padronização e a equidade no acesso ao diagnóstico fetal.

5115

Diante disso, a integração da inteligência artificial à ultrassonografia pré-natal representa um avanço estratégico para a medicina fetal. Apesar de desafios persistentes relacionados à generalização dos modelos, à padronização dos protocolos de aquisição e às implicações éticas e legais, a literatura atual indica que a IA configura instrumento de apoio clínico robusto, com potencial para aprimorar o rastreamento pré-natal e contribuir para melhores desfechos perinatais (TAKSOEE-VESTER et al., 2024; RAVI et al., 2020; TOPOL, 2019).

METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, realizada com o objetivo de sintetizar as evidências disponíveis acerca do uso da inteligência artificial aplicada à ultrassonografia na detecção de malformações congênitas. A busca foi conduzida em agosto de 2025 nas bases PubMed/MEDLINE, Cochrane Library e Scielo. Na PubMed, empregaram-se dois conjuntos distintos de descritores presentes no DeCS: (“Ultrasonography”) AND (“Congenital Abnormalities”) AND (“Artificial Intelligence”), que resultou em 243 artigos, dos quais 8 foram selecionados após análise de elegibilidade; e (“Ultrasonography”) AND (“Deep Learning”) AND (“Congenital Abnormalities”), que retornou 125 artigos, dos quais 8 foram incluídos. Na base Cochrane e Scielo, foram utilizadas combinações equivalentes de descritores, mas não foram identificados estudos que se enquadrassem no tema específico da aplicação da inteligência artificial em ultrassonografia para detecção de malformações congênitas. Foram estabelecidos como critérios de inclusão: artigos originais disponíveis na íntegra; publicados em inglês, português ou espanhol; no período de 2020 a 2025; que abordassem de forma explícita a aplicação de modelos de inteligência artificial ou aprendizado profundo em exames ultrassonográficos para identificação de malformações congênitas fetais. Foram excluídos artigos duplicados entre bases, além de pesquisas que, embora mencionassem ultrassonografia ou inteligência artificial, não possuíam como foco a detecção de anomalias congênitas. Os motivos mais frequentes para exclusão dos artigos foram: aplicação da IA em contextos distintos da detecção de malformações (como análise de crescimento fetal, estimativa de idade gestacional ou avaliação da vitalidade fetal); estudos centrados em outras modalidades de imagem (ressonância magnética, tomografia ou radiologia geral); e pesquisas de validação técnica de algoritmos sem vínculo direto com anomalias congênitas. O processo de triagem foi realizado em duas etapas. Na primeira, procedeu-se à leitura de títulos e resumos para exclusão de estudos manifestamente não relacionados ao tema. Na segunda, os textos completos dos artigos potencialmente elegíveis foram analisados integralmente, de modo a verificar a adequação aos critérios previamente estabelecidos. Ao final, foram incluídos 16 artigos, sendo 8 do primeiro conjunto de descritores e 8 do segundo.



Autoria própria

RESULTADOS

5117

A inteligência artificial tem se evidenciado progressivamente como uma aliada estratégica na medicina fetal, objetivando uma melhora do estudo científico junto à qualidade dos resultados dos exames de imagem solicitados. Vários protocolos enfatizam que a padronização dos dados é determinante para a performance dos modelos tecnológicos. O protocolo LIFE (LIFE Study, 2024) e estudos iniciais (Athalye et al., 2023) propõem treinamento em milhares de vídeos 2D de ultrassonografia do primeiro trimestre da gestação. Após essa etapa, foi realizada validação em vídeos “não vistos”, com inclusão consecutiva de gestantes e segmentação semântica planejada. Tais iniciativas evidenciam o esforço necessário para a construção de bases de dados multicêntricas, balanceadas e criteriosamente anotadas por especialistas, fundamentais para o avanço da inteligência artificial em diagnóstico fetal.

O estudo LIFE (Learning Deep Architectures for the Interpretation of First-Trimester Fetal Echocardiography), conduzido por Arnaout et al. (2020), estabeleceu um protocolo metodológico em apoio à decisão na análise automatizada de vídeos bidimensionais de ecocardiografia fetal. Embora ainda em fase de concepção, o protocolo prevê treinamento do modelo em milhares de frames de gestantes entre 12 e 13 semanas e 6 dias, com segmentação

semântica das estruturas cardíacas e posterior validação em vídeos inéditos. Apesar de não apresentar resultados clínicos imediatos, este estudo representa um marco no planejamento da integração da IA na prática da cardiologia fetal.

A aplicação de modelos de deep learning para o diagnóstico de cardiopatias congênitas fetais têm demonstrado avanços consistentes, com melhora da sensibilidade e especificidade. O estudo de Athalye et al. (2024) analisou 66 casos de cardiopatias congênitas isoladas e 42 fetos normais, com o objetivo de comparar a performance da triagem convencional com os sistemas de aprendizado profundo. A avaliação clínica durante o exame morfológico apresentou sensibilidade de 45,5% e especificidade de 100%. Quando aplicado o modelo de deep learning, a sensibilidade aumentou para 91% e a especificidade manteve-se elevada, em 96%.

Sendo assim, depreende-se que um dos principais grandes sistemas do corpo humano estudados e analisados pelos especialistas no cuidado fetal é o cardiovascular. A utilização de novas tecnologias na detecção de defeitos cardíacos específicos e classificação é um diferencial benéfico para a saúde e qualidade de vida do feto, uma vez que ocorre a padronização da aquisição de imagens, ampliação do acesso ao diagnóstico e fortalecimento do papel do profissional de saúde.

Ungureanu et al. (2023) defendem essa proposta ao desenvolver um sistema que reconhece automaticamente vistas cardíacas já no primeiro trimestre, etapa em que a complexidade técnica frequentemente compromete a detecção precoce. Os estudos de Day et al. (2025) avançam nesse caminho ao aplicar tecnologia de IA para extrair cliques de vídeos do coração fetal, viabilizando uma segunda revisão remota por especialistas. Os resultados demonstraram que essa abordagem elevou significativamente a sensibilidade de 0,792 no exame manual inicial para 0,975 na revisão com vídeos extraídos por IA. Contudo, essa melhoria na sensibilidade foi acompanhada de uma queda na especificidade, que caiu a 0,667 contra 0,917. Além disso, o tempo de revisão por vídeo, de 3,75 minutos, era superior ao da revisão de imagens estáticas, sendo este de 1,0 minuto. Apesar da redução na especificidade, que pode gerar aumento de falsos positivos, a tecnologia se insere como recurso estratégico para aprimorar triagens, reduzir desigualdades em saúde e potencializar desfechos neonatais, seguindo uma trajetória que vai do desenvolvimento metodológico à aplicação prática integrativa.

Um estudo recente avaliou o uso de técnicas de deep learning para diferenciar duas cardiopatias congênitas de apresentação ecocardiográfica semelhante: a comunicação interventricular (CIV/VSD) e a tetralogia de Fallot (TOF). Foram analisadas 202 imagens de

ecocardiografia fetal (96 de VSD e 106 de TOF) obtidas entre 22 e 24 semanas de gestação. Quatro arquiteturas de redes neurais convolucionais foram comparadas: VGG19, ResNet50, NTS-Net e WSDAN. Os modelos clássicos VGG19 e ResNet50 apresentaram desempenhos semelhantes, com AUC de 0,799 e 0,802, respectivamente. Já os modelos de classificação fina, projetados para captar diferenças sutis em imagens médicas, mostraram desempenho superior: o NTS-Net alcançou AUC de 0,823, enquanto o WSDAN foi o melhor modelo, com AUC de 0,873, sensibilidade de 85,0%, especificidade de 90,5% e acurácia de 87,8%. O estudo destacou que a diferenciação entre VSD e TOF é desafiadora devido à semelhança estrutural das imagens, sendo o sinal mais relevante a presença de aorta cavalgante, nem sempre evidente no exame fetal. Nesse cenário, modelos baseados em atenção e classificação refinada, como o WSDAN, mostraram maior capacidade de capturar regiões discriminativas, mesmo com conjuntos de dados relativamente pequenos. Apesar do potencial, os autores apontam limitações importantes, como o caráter unicêntrico da amostra e o tamanho restrito da base de imagens, indicando a necessidade de validações externas multicêntricas. Conclui-se que o uso de inteligência artificial, especialmente modelos voltados à categorização de imagens em nível detalhado, pode oferecer suporte promissor na diferenciação de malformações cardíacas congênitas em ultrassonografia fetal, favorecendo diagnósticos mais precoces e acurados.

5119

Com o objetivo de auxiliar a ultrassonografia fetal, uma plataforma de IA integrada, chamada HeartAssist foi criada. Este modelo demonstrou desempenho elevado na anotação das 26 estruturas cardíacas, sendo a taxa de sucesso de 98,4%, evidenciando que a maioria das estruturas foi corretamente identificada e delimitada pelo sistema. O modelo oferece um pacote integrado, realizando três tarefas fundamentais: classificação de vistas, anotação anatômica e medição biométrica. Isso representa um avanço importante em direção a uma análise mais abrangente e padronizada do coração fetal, o que reforça o potencial da IA como ferramenta para auxiliar na ecocardiografia fetal, especialmente considerando a dificuldade diagnóstica associada à detecção de cardiopatias congênitas (Kim et al., 2025).

Um estudo chinês avaliou a viabilidade do uso de redes neurais convolucionais (CNN) para classificar imagens de ultrassonografia fetal do cérebro em planos axiais padrão como normais ou anormais (XIE et al., 2020). Foram inicialmente analisadas 92.748 gestações, das quais se obtiveram 10.251 casos normais e 2.529 com anomalias do sistema nervoso central confirmadas por exame pós-natal ou autópsia. Após exclusões e pré-processamento, o conjunto final incluiu 15.372 imagens normais e 14.047 anormais, que foram divididas em treino ($\approx 80\%$)

e teste ($\approx 20\%$). O modelo foi desenvolvido para três funções principais: segmentar a região craniocerebral, classificar imagens como normais ou anormais e localizar lesões por meio de mapas de calor sobrepostos às imagens. Os resultados mostraram excelente desempenho: a segmentação atingiu precisão de 97,9%, recall de 90,9% e coeficiente Dice de 94,1%. Para classificação, a acurácia global foi de 96,3%, com sensibilidade de 96,9%, especificidade de 95,9% e AUC de 0,989 (IC95%: 0,986–0,991) (XIE et al., 2020). A análise de localização indicou que os mapas de calor identificaram corretamente a lesão em 61,6% das imagens, de forma próxima em 24,6% e irrelevante em 13,7%. Além disso, o tempo médio de processamento foi de 1,08 segundos por imagem, sugerindo aplicabilidade em tempo quase real na prática clínica. O estudo reforça o potencial da IA como suporte ao diagnóstico pré-natal, reduzindo o risco de diagnósticos falso-negativos e ajudando a suprir a escassez de sonologistas em regiões com menor acesso a especialistas (XIE et al., 2020). Contudo, os autores destacaram limitações importantes, como o caráter unicêntrico da pesquisa, a super-representação de casos anormais em relação à prevalência real e a ausência de validação multicêntrica. Apesar disso, os achados confirmam a robustez dos algoritmos de deep learning na detecção automática de anomalias cerebrais fetais e indicam que futuras pesquisas devem explorar classificações multicategóricas e validação em diferentes contextos clínicos (XIE et al., 2020).

5120

No conjunto analisado no artigo de TAKSOEE-VESTER et al., os fetos com diagnóstico confirmado de coarcação da aorta (CoA) apresentaram alterações biométricas cardíacas significativas em comparação ao grupo controle. As câmaras e estruturas esquerdas — ventrículo esquerdo, aorta ascendente, aorta descendente e válvula mitral — mostraram-se menores, enquanto ventrículo direito e artéria pulmonar principal estavam aumentados. Como consequência, as razões ventrículo direito/ventrículo esquerdo (VD/VE) e artéria pulmonar/aorta ascendente (MPA/Aao) foram mais elevadas nos casos de CoA. Entre as variáveis isoladas, a razão MPA/Aao destacou-se como o preditor mais robusto, com área sob a curva (AUC) de 0,90, sensibilidade de 90,3% e especificidade de 61,9%. A medida da aorta ascendente obteve AUC de 0,88, e a razão VD/VE, AUC de 0,87. O modelo multivariado que integrou seis características biométricas alcançou desempenho superior, com AUC de 0,96, sensibilidade de 90,4% e especificidade de 88,9%, apresentando valor preditivo negativo próximo de 100%, o que reforça sua capacidade de excluir com segurança a presença de CoA em triagens populacionais. Quando comparada à avaliação subjetiva tradicional da simetria cardíaca, a abordagem automatizada com inteligência artificial (IA) aumentou em

aproximadamente 20–40% a taxa de detecção pré-natal da CoA, atingindo desempenho próximo ao de especialistas em ecocardiografia fetal.

O modelo de inteligência artificial (IA) desenvolvido, em outra pesquisa, mostrou alta capacidade para identificar automaticamente a comunicação interventricular (CIV) em imagens de ultrassom cardíaco fetal, com desempenho geral considerado excelente. Quando comparado à avaliação feita apenas por médicos, o uso da IA trouxe maior benefício para profissionais menos experientes, que conseguiram aumentar a precisão do diagnóstico com o apoio do sistema. Além disso, a análise pode ser realizada de forma rápida, permitindo interpretações em tempo real, inclusive em vídeos dinâmicos de ultrassom. Em relação a outras redes de detecção já utilizadas, o algoritmo proposto se destacou por manter alta acurácia com menor complexidade computacional, demonstrando viabilidade para aplicação clínica rotineira e potencial para ampliar o acesso a diagnósticos precisos em diferentes contextos de saúde (Li et al., 2024).

Outra aplicação promissora da Inteligência Artificial (IA) em exames de imagem está na triagem da trissomia do cromossomo 21. Zhang et al. (2024) desenvolveram um modelo de deep learning que analisa imagens ultrassonográficas bidimensionais da translucência nucal (NT) na face fetal no plano sagital coletadas entre 11 e 14 semanas de gestação. O modelo apresentou desempenho elevado, com AUC de 0,98 no treinamento e 0,95 na validação externa, superando significativamente o rastreio tradicional baseado na idade materna associada à translucência nucal que possui $AUC \approx 0,73\text{--}0,82$. Esses indicadores revelam que o modelo de IA oferece melhor acurácia na sensibilidade para rastreamento de trissomia 21 no primeiro trimestre, mostrando a capacidade de identificar padrões sutis nas imagens ultrassonográficas.

Isso reforça a relevância de seguir investindo no desenvolvimento de ferramentas automatizadas, com potencial de ampliar o alcance e a eficácia da triagem pré-natal em diferentes contextos clínicos e realidades de atenção à gestante.

A integração desses modelos na área da saúde oferece potencial para suporte à decisão clínica, especialmente em centros com escassez de especialistas em neuroimagem fetal, aumentando a precisão do diagnóstico e permitindo intervenções precoces e assertivas. No entanto, os estudos ressaltam a necessidade de validação multicêntrica e padronização dos protocolos de aquisição para garantir confiabilidade em diferentes eixos clínicos (Payette et al., 2022).

Apesar dos avanços significativos das técnicas de inteligência artificial aplicadas à cardiologia fetal e à neuroimagem, diversos desafios metodológicos, clínicos e éticos limitam sua incorporação na prática médica. Um dos principais entraves é a qualidade e a heterogeneidade dos dados disponíveis, uma vez que a acurácia de modelos de aprendizado profundo depende fortemente de imagens de alta resolução e de bancos de dados cuidadosamente processados. Embora estudos recentes demonstrem elevado potencial na detecção precoce de cardiopatias congênitas e anomalias cerebrais, a validação prospectiva em cenários clínicos reais permanece escassa, restringindo a adoção em larga escala. Além disso, fatores como variações entre equipamentos de ultrassonografia ou ressonância magnética, diferenças nos protocolos de aquisição e a ocorrência de artefatos podem comprometer a confiabilidade das previsões fornecidas pelos modelos de inteligência artificial (Litjens et al., 2017; Payette et al., 2022).

Outro ponto crítico é a generalização dos modelos, ou seja, capacidade de aplicar seu aprendizado em dados novos. Muitos algoritmos são treinados em populações específicas, o que pode comprometer seu desempenho quando aplicados a pacientes de diferentes regiões geográficas, etnias ou idades (Gholipour et al., 2017). Para superar esse desafio, Redes Generativas Adversariais (GANs) têm sido exploradas para elevar a confiabilidade dos modelos, mas a exposição desses modelos a novos dados de pesquisa, hospitais e instituições ainda é limitada (Liu et al., 2021).

A interpretação clínica das previsões da IA também representa um desafio relevante. Modelos de deep learning funcionam como “caixas-pretas”, isto é, o processo de tomada de decisão não é transparente ou facilmente interpretado. Isso gera resistência por parte de especialistas e levanta questões éticas sobre a responsabilidade em casos de diagnóstico incorreto ou atraso no tratamento (Topol, 2019). Além disso, há preocupações com a segurança e privacidade de dados sensíveis, uma vez que grandes volumes de informações fetais e maternas precisam ser armazenados e processados para treinamento dos algoritmos (Ravi et al., 2020).

Outro desafio reside na integração clínica e estrutural. A implementação da IA requer infraestrutura tecnológica adequada, treinamento especializado e protocolos padronizados para que os modelos possam complementar efetivamente a avaliação médica sem comprometer o fluxo de trabalho clínico (Payette et al., 2022).

De modo geral, os estudos analisados demonstram que a aplicação da inteligência artificial em medicina fetal já alcança resultados expressivos, com ganhos em sensibilidade, especificidade e acurácia em múltiplos cenários diagnósticos. Modelos avançados de aprendizado profundo mostraram-se capazes de reconhecer padrões, automatizar tarefas complexas e ampliar a triagem precoce de anomalias, reforçando o potencial da tecnologia como ferramenta para suporte clínico. Esses achados consolidam a IA como um recurso promissor no diagnóstico fetal, estabelecendo as bases para sua futura integração em protocolos assistenciais de forma segura e eficiente.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente estudo reforçam a progressiva consolidação da inteligência artificial como ferramenta estratégica na medicina fetal, especialmente no âmbito da ecocardiografia e da neuroimagem pré-natal. Observou-se que diferentes arquiteturas de aprendizado profundo, quando aplicadas a bases de dados adequadamente anotadas e padronizadas, alcançam desempenhos superiores às estratégias convencionais de diagnóstico, com ganhos consistentes em sensibilidade e especificidade. Esses achados adquirem relevância particular em um cenário clínico marcado pela elevada complexidade técnica da ultrassonografia do primeiro trimestre, período no qual a acurácia diagnóstica depende fortemente da experiência do examinador e da qualidade da imagem obtida. Modelos como o HeartAssist exemplificam a aplicabilidade imediata dessas soluções ao proporcionar padronização de vistas, automatização de medições biométricas e ampliação da consistência diagnóstica. A detecção de defeitos cardíacos complexos, como a coarctação da aorta e o defeito do septo ventricular se beneficiam de modelos de aprendizado profundo que realizam medições biométricas automatizadas, exemplificado por Taksoee-Vester et al. (2024), em que a aplicação de múltiplas medições combinadas aumentou a acurácia diagnóstica para Coarctação da Aorta, similarmente evidenciado por Li et al. (2024) na detecção de CIV, especialmente entre examinadores menos experientes, destacando a importância do suporte automatizado em contextos clínicos com escassez de especialistas. Além disso, estudos focados em classificação de defeitos específicos, como DSV e tetralogia de Fallot, também evidenciam o potencial da IA em diferenciar patologias complexas (WSDAN), aproximando-se do desempenho clínico de especialistas (Zhang et al., 2024). Da mesma forma, o modelo proposto por tal autor com desempenho superior no rastreio da trissomia 21, em comparação aos métodos convencionais,

ilustra a capacidade da IA de identificar padrões sutis de imagem não captados pela avaliação humana isolada, constituindo-se em um avanço com implicações diretas para a triagem populacional.

Em contrapartida, desafios importantes relacionados à heterogeneidade e qualidade das bases de dados utilizadas ainda persistem, visto que há a dependência de imagens de alta resolução e a variabilidade introduzida por diferentes equipamentos e protocolos de aquisição, fatores que não apenas limitam a replicabilidade dos modelos em contextos distintos, mas também dificultam a generalização dos resultados para populações diversas. Além disso, aspectos operacionais, como o maior tempo de revisão de vídeos em comparação à análise de imagens estáticas, evidenciado por Zhang et al. (2024), demonstram que a incorporação desses recursos ao fluxo clínico exige, não apenas infraestrutura tecnológica adequada, mas também ajustes organizacionais para que a IA se torne um complemento ao trabalho médico. Somado a tais aspectos, é visto que estudos que demonstram grande auxílio da presença da IA na prática clínica, entretanto apesar disso existem desafios a serem vencidos, a exemplo da capacidade de generalização dos modelos, frequentemente treinados em populações específicas, que ainda é limitada, o que pode comprometer o desempenho em diferentes contextos geográficos, étnicos e socioeconômicos (GHOLIPOUR et al., 2017). Com base nisso, estratégias são abordadas para tentar contornar tais dificuldades, como o uso de Redes Generativas Adversariais (GANs) para ampliar o banco de dados dos algoritmos (LIU et al., 2021), e representaram avanços importantes, mas ainda se mostraram insuficientes frente à complexidade da diversidade populacional. Outro entrave relevante é a opacidade dos modelos de deep learning (TOPOL, 2019), o que pode ocasionar diagnósticos equivocados e, consequentemente, a confiabilidade por parte da população médica nesses sistemas diminui e a adesão a um sistema que poderia auxiliar no diagnóstico, por receio de trazer equívocos, se tornaria baixa.

Comparando-se, então, os resultados do presente estudo com a literatura, nota-se convergência em diversos pontos: a superioridade do WSDAN frente a arquiteturas convencionais, relatada por Zhang et al. (2024) e corroborada por Wang et al. (2024), confirmando a tendência de que modelos mais sofisticados de rede neural apresentam maior aplicabilidade clínica, e o incremento de sensibilidade reportado por Athalye et al. (2024) ao utilizar revisão remota mediada por IA, que alinha-se à proposta de ampliar o acesso ao diagnóstico fetal por meio de soluções tecnológicas, mesmo acompanhado de redução da especificidade, para que conteemple populações que não teriam acesso a essa tecnologia. Esses

achados demonstram análises mais amplas de Ravi et al. (2020) e Liu et al. (2021), que ressaltam a necessidade de validações em múltiplos centros e padronização dos protocolos de aquisição como condição essencial para a implementação da IA e obtenção de benefícios clínicos.

Em suma, os resultados deste estudo, interpretados em conjunto com a literatura pertinente, apontam para um cenário de avanços robustos da inteligência artificial aplicada à medicina fetal, especialmente na cardiologia e neuroimagem pré-natal, haja vista os ganhos em sensibilidade, especificidade e padronização de protocolos diagnósticos, os quais reforçam a aplicabilidade clínica das ferramentas de IA e que sugerem o potencial para transformar o rastreamento pré-natal em diferentes realidades de atenção à gestante. Contudo, a incorporação efetiva dessas tecnologias à prática médica requer não apenas a superação de barreiras metodológicas e técnicas, mas também o enfrentamento de desafios relacionados a diferentes patologias encontradas em populações em localidades distintas. Consolida-se, então, a perspectiva de que a inteligência artificial, quando aplicada na prática médica, possui potencial para se tornar um marco na melhoria dos desfechos perinatais e na promoção de maior equidade em saúde. Além disso, é importante ressaltar que a IA ainda sofre de algumas limitações no contexto atual, por isso, deve ser apenas utilizada como ferramenta auxiliar diagnóstica.

5125

CONCLUSÃO

A incorporação da inteligência artificial à ultrassonografia pré-natal representa uma das transformações mais promissoras da medicina fetal contemporânea, impactando além da detecção de cardiopatias congênitas e estendendo-se à triagem de diversas malformações estruturais, como as do sistema nervoso central. Ao empregar algoritmos de aprendizado profundo, a IA tem demonstrado alta sensibilidade e especificidade na análise automática de imagens, reduzindo falhas diagnósticas e permitindo um rastreamento mais abrangente, preciso e precoce das anomalias.

Além de aprimorar a acurácia diagnóstica, a IA contribui para padronizar a aquisição e interpretação de imagens, minimizando a variabilidade entre examinadores e tornando o processo menos dependente da experiência individual. Isso é especialmente relevante em contextos de recursos limitados, como unidades básicas e regiões com escassez de especialistas, onde ferramentas inteligentes podem ampliar o acesso a um pré-natal de qualidade, reduzindo desigualdades em saúde.

É possível mensurar, então, que o uso integrado da IA com revisão humana potencializa o desempenho dos profissionais, oferecendo uma abordagem colaborativa capaz de reduzir erros e aumentar a detecção precoce de anomalias cardíacas, a exemplo de ferramentas como HeartAssist e modelos multivariados baseados em CNNs, as quais demonstraram resultados comparáveis aos de especialistas, com alta confiabilidade e aplicabilidade prática em triagens de rotina.

Portanto, conclui-se que a IA não substitui o raciocínio médico, mas o complementa de forma decisiva, funcionando como uma ferramenta de apoio diagnóstico e de equidade em saúde. Seu uso responsável pode transformar o rastreamento pré-natal, melhorar os desfechos perinatais e contribuir para uma medicina mais acessível, eficiente e humanizada.

REFERÊNCIAS

1. ATHALYE, C. et al. Deep-learning model for prenatal congenital heart disease screening generalizes to community setting and outperforms clinical detection. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, v. 63, n. 1, p. 44–52, Jan. 2024. DOI: 10.1002/uog.27503. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37774040/>. Acesso em: 09 set. 2025.
2. DAY, T. G. et al. Interaction between clinicians and artificial intelligence to detect fetal atrioventricular septal defects on ultrasound: how can we optimize collaborative performance? *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, v. 64, n. 1, p. 28-35, Jul. 2024. DOI: 10.1002/uog.27577. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38197584/>. Acesso em: 10 set. 2025. 5126
3. DAY, T. G. et al. Video Clip Extraction From Fetal Ultrasound Scans Using Artificial Intelligence to Allow Remote Second Expert Review for Congenital Heart Disease. *Prenatal Diagnosis*, 6 fev. 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39916306/>. Acesso em: 12 set. 2025
4. KIM, R. et al. Artificial intelligence based automatic classification, annotation, and measurement of the fetal heart using HeartAssist. *Scientific Reports*, v. 15, n. 1, 16 abr. 2025. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40240835/>. Acesso em: 09 set. 2025.
5. LI, F. et al. Application of artificial intelligence in VSD prenatal diagnosis from fetal heart ultrasound images. *BMC Pregnancy and Childbirth*, v. 24, n. 1, 16 nov. 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39550543/>. Acesso em: 10 set. 2025.
6. NIYOGI, Subhrashis Guha; et al. Role of artificial intelligence in congenital heart disease. *World Journal of Clinical Pediatrics*, v. 14, n. 3, p. 105926, 9 set. 2025. DOI: 10.5409/wjcp.v14.i3.105926. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40881074/>. Acesso em: 09 set. 2025.
7. NURMAINI, S. et al. Deep Learning-Based Computer-Aided Fetal Echocardiography: Application to Heart Standard View Segmentation for Congenital Heart Defects Detection. *Sensors*, v. 21, n. 23, p. 8007, 30 nov. 2021. DOI: 10.3390/s21238007. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21238007>. Acesso em: 14 set. 2025.
8. PATEY, O. et al. Prenatal detection of congenital heart defects using the deep learning-based image and video analysis: protocol for Clinical Artificial Intelligence in Fetal Echocardiography (CAIFE), an international

multicentre multidisciplinary study. *BMJ Open*, v. 37, n. 5, p. 550–561, May 2024. Disponível em: <http://orcid.org/0000-0001-8008-5144>. Acesso em: 14 set. 2025.

9. SACHDEVA, Ritu et al. Novel Techniques in Imaging Congenital Heart Disease: JACC Scientific Statement. *Journal of the American College of Cardiology*, v. 83, n. 1, p. 63-81, 2 jan. 2024. DOI: [10.1016/j.jacc.2023.10.025](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2023.10.025). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38171712/>. Acesso em: 12 set. 2025.
10. SUHA, Khadiza Tun et al. The Artificial Intelligence-Enhanced Echocardiographic Detection of Congenital Heart Defects in the Fetus: A Mini-Review. *Medicina (Kaunas)*, v. 61, n. 4, p. 561, 21 mar. 2025. DOI: [10.3390/medicina61040561](https://doi.org/10.3390/medicina61040561). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40282852/>. Acesso em: 10 set. 2025.
11. TAKSOEE-VESTER, C. A. et al. Role of AI-assisted automated cardiac biometrics in screening for fetal coarctation of aorta. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, 9 fev. 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38339776/>. Acesso em: 08 set. 2025.
12. UNGUREANU, A.; et al. Learning deep architectures for the interpretation of first-trimester ultrasound images: a proof-of-concept study. *Frontiers in Pediatrics*, 2023. DOI: ___. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9832772/>. Acesso em: 15 set. 2025.
13. XIE, H. N.; et al. Using deep-learning algorithms to classify fetal brain ultrasound images as normal or abnormal. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, v. 56, n. 4, p. 579-587, out. 2020. DOI: [10.1002/uog.21967](https://doi.org/10.1002/uog.21967). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31909548/>. Acesso em: 15 set. 2025.
14. YU, X.; et al. Deep learning-based differentiation of ventricular septal defect from tetralogy of Fallot in fetal echocardiography images. *Technology and Health Care*, v. 32, supl. 1, p. 457-464, 2024. DOI: [10.3233/THC-248040](https://doi.org/10.3233/THC-248040). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38759068/>. Acesso em: 15 set. 2025. 5127
15. ZHANG, J. et al. Advances in the Application of Artificial Intelligence in Fetal Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography*, v. 37, n. 5, p. 550-561, maio 2024. DOI: [10.1016/j.echo.2023.12.013](https://doi.org/10.1016/j.echo.2023.12.013). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38199332/>. Acesso em: 15 set. 2025.
16. ZHANG, L.; et al. Development and validation of a deep learning model to screen for trisomy 21 during the first trimester from nuchal ultrasonographic images. *JAMA Network Open*, v. 5, n. 6, e2217854, jun. 2022. DOI: [10.1001/jamanetworkopen.2022.17854](https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.17854). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35727579/>. Acesso em: 15 set. 2025.