

## INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA TRIAGEM DA RETINOPATIA DIABÉTICA NA ATENÇÃO PRIMÁRIA: ACURÁCIA DIAGNÓSTICA E CUSTO-EFETIVIDADE

Júlia Mamprin<sup>1</sup>  
Nicolas Avancini Prates<sup>2</sup>  
Oton Marlos Rocha Mascarenhas Júnior<sup>3</sup>  
Lívia Tofoli Rossoni<sup>4</sup>  
Gustavo de Barros Massote<sup>5</sup>

**RESUMO:** A retinopatia diabética (RD) é uma das principais causas de cegueira evitável no mundo, e sua detecção precoce depende de triagens sistemáticas, tradicionalmente realizadas por oftalmologistas. No entanto, a limitação de recursos humanos e a sobrecarga dos serviços especializados tornam esse rastreamento insuficiente na atenção primária. A inteligência artificial (IA), especialmente por meio de algoritmos de aprendizado profundo (deep learning), tem se mostrado uma alternativa promissora para o diagnóstico automatizado da RD a partir de imagens de fundo de olho. Este artigo tem como objetivo avaliar a acurácia diagnóstica e a custo-efetividade desses sistemas quando aplicados à triagem da RD no contexto da atenção primária à saúde. Realizou-se uma revisão narrativa da literatura entre 2018 e 2025 em bases PubMed, SciELO e Google Scholar, abrangendo ensaios clínicos, estudos multicêntricos e análises econômicas. Os resultados demonstram que a IA atinge acurácia superior a 90%, sensibilidade e especificidade próximas a 95%, com potencial de reduzir em até 45% os custos associados à triagem manual. Além de ampliar o acesso, a tecnologia otimiza fluxos de encaminhamento, permitindo que casos graves sejam priorizados. Conclui-se que a integração da IA à atenção primária é uma estratégia custo-efetiva e de alto impacto populacional, desde que acompanhada de validação clínica local, infraestrutura tecnológica adequada e políticas de regulação ética e legal.

2177

**Palavras-chaves:** Inteligência Artificial. Retinopatia Diabética. Atenção Primária à Saúde. Custo-Efetividade. Diagnóstico.

### INTRODUÇÃO

A retinopatia diabética (RD) é uma das principais causas de cegueira evitável no mundo, representando grave complicação microvascular do diabetes mellitus. Resulta de alterações progressivas nos capilares da retina causadas pela hiperglicemia crônica, levando a microaneurismas, exsudatos e isquemia retiniana. Na ausência de rastreamento, a doença evolui silenciosamente até estágios proliferativos, com risco elevado de perda visual

<sup>1</sup> Acadêmico de medicina, Centro Universitário Claretiano – CEUCLAR.

<sup>2</sup> Médico, Centro Universitário Aparício Carvalho – FIMCA.

<sup>3</sup> Médico. Universidade Estadual do Piauí (UESPI).

<sup>4</sup> Acadêmico de medicina, Centro Universitário de Valença – UNIFAA.

<sup>5</sup> Médico, Hospital São Geraldo- Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.

permanente. Segundo a International Diabetes Federation (IDF, 2022), mais de 537 milhões de pessoas vivem com diabetes no mundo, e cerca de 30% delas apresentam algum grau de RD. No Brasil, onde o diabetes acomete aproximadamente 10% da população adulta, a prevalência de RD varia entre 17% e 35%, sendo maior em pacientes com mais de 10 anos de diagnóstico ou controle glicêmico inadequado.

A detecção precoce é essencial para prevenir complicações, podendo reduzir em até 95% o risco de cegueira quando o tratamento é iniciado oportunamente. Entidades como a American Diabetes Association (ADA) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomendam o rastreamento anual da retina em todos os diabéticos. Contudo, o modelo tradicional — dependente da avaliação presencial por oftalmologistas — é limitado por custos elevados, escassez de profissionais e desigualdades regionais. No Brasil, a concentração de oftalmologistas em grandes centros urbanos e a carência de recursos tecnológicos em áreas remotas tornam o rastreamento universal praticamente inviável.

Nesse contexto, a atenção primária à saúde (APS) surge como o espaço ideal para incorporar tecnologias de triagem precoce. A APS é o primeiro nível de contato do paciente com o sistema público de saúde e tem papel essencial na coordenação do cuidado e na detecção precoce de doenças crônicas. Entretanto, a falta de especialistas e de equipamentos diagnósticos limita a capacidade das Unidades Básicas de Saúde (UBS) de realizarem exames oftalmológicos.

2178

A inteligência artificial (IA) tem se destacado como ferramenta promissora para superar essas barreiras. Baseada em algoritmos de aprendizado profundo (deep learning), especialmente as redes neurais convolucionais (CNNs), a IA é capaz de analisar automaticamente imagens retinianas e identificar padrões compatíveis com RD com alta acurácia. Esses modelos são treinados com grandes bases de dados, como EyePACS e Messidor, compostas por centenas de milhares de imagens classificadas por especialistas.

O IDx-DR, aprovado pela Food and Drug Administration (FDA) em 2018, foi o primeiro sistema autônomo de IA para diagnóstico de RD. Em ensaios clínicos, obteve sensibilidade de 87% e especificidade de 90%, sem necessidade de interpretação humana. O EyeArt AI, validado pelo National Health Service (NHS) do Reino Unido, alcançou sensibilidade superior a 95% e relatórios automáticos em poucos segundos. Esses resultados demonstram que a IA pode atingir desempenho equivalente ao de oftalmologistas, com vantagem de rapidez, padronização e ausência de variabilidade interobservador.

A incorporação dessas ferramentas na APS representa uma mudança paradigmática na triagem de doenças oculares. Em vez de depender exclusivamente do especialista, é possível capacitar enfermeiros e técnicos para capturar imagens de fundo de olho com câmeras portáteis, que são posteriormente analisadas pela IA. Esse modelo descentralizado amplia a cobertura populacional, reduz filas de regulação e prioriza o encaminhamento de casos mais graves. Estudos realizados em UBS brasileiras e centros internacionais mostram que a triagem automatizada pode aumentar em até 70% o número de diabéticos avaliados anualmente.

Além da precisão diagnóstica, diversos estudos apontam que a IA é altamente custo-efetiva. Em Singapura, Ting et al. (2020) demonstraram que a triagem automatizada reduziu em 40% o custo médio por paciente rastreado. Modelos econômicos aplicados ao contexto do SUS, como os desenvolvidos por Fernandes et al. (2024) e Silva e Souza (2024), indicam que a adoção da IA na APS poderia gerar economia anual superior a R\$ 25 milhões, considerando a prevenção de cegueiras e redução de custos com reabilitação visual. A relação custo-benefício é particularmente vantajosa em regiões com escassez de especialistas, onde o transporte e o tempo de espera representam gastos adicionais significativos.

Os benefícios da IA também incluem padronização diagnóstica, redução de erros humanos e possibilidade de operação contínua. Além da RD, os algoritmos podem detectar simultaneamente outras condições, como glaucoma e degeneração macular, aumentando o valor clínico da triagem. Quando combinados à telemedicina, formam um sistema híbrido (*human-in-the-loop*) que associa eficiência tecnológica à segurança clínica, permitindo que os casos positivos sejam revisados por um oftalmologista remoto antes da decisão final.

2179

Entretanto, desafios importantes persistem. A implementação da IA em ambientes públicos requer infraestrutura digital adequada, conectividade estável e câmeras de boa qualidade. Além disso, há questões éticas e legais a serem consideradas. No Brasil, a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) impõe regras rígidas para o tratamento de informações sensíveis, exigindo segurança e anonimização de imagens médicas. Outro obstáculo é a regulamentação pela ANVISA, ainda em consolidação, que deve definir critérios específicos para softwares diagnósticos baseados em IA.

Também se destaca a importância da validação local dos algoritmos, uma vez que muitos modelos foram treinados em populações asiáticas ou europeias, o que pode gerar viés diagnóstico quando aplicados em diferentes contextos étnicos. Iniciativas nacionais, como o

Projeto Retina Digital da Fiocruz (2024), têm buscado adaptar e treinar modelos com imagens de pacientes brasileiros, garantindo melhor representatividade e precisão.

O impacto socioeconômico da cegueira por RD é significativo. Segundo a OMS (2020), as perdas de produtividade e custos de reabilitação visual representam bilhões de dólares por ano. No Brasil, estima-se que as incapacidades visuais decorrentes do diabetes gerem mais de R\$ 1 bilhão em gastos anuais diretos e indiretos. Assim, investir em triagem automatizada por IA não é apenas uma decisão tecnológica, mas uma estratégia de saúde pública e de sustentabilidade econômica.

A integração da IA à APS é compatível com os princípios do SUS — universalidade, integralidade e equidade. A tecnologia permite que o rastreamento da RD deixe de ser uma prática restrita a centros especializados e se torne uma política populacional ativa, acessível em qualquer unidade de saúde com câmera retiniana e conexão mínima à internet. Essa democratização do diagnóstico visual reforça o compromisso do sistema com a prevenção e o cuidado integral.

Em síntese, a inteligência artificial aplicada à triagem da retinopatia diabética representa uma inovação de alto impacto, com potencial para ampliar o acesso, reduzir custos e prevenir milhares de casos de cegueira evitável. A sua adoção na atenção primária deve ser acompanhada de estratégias de capacitação, infraestrutura digital e regulamentação ética adequada. A experiência internacional e os resultados preliminares brasileiros indicam que a IA é precisa, custo-efetiva e operacionalmente viável, configurando uma das mais promissoras ferramentas para fortalecer a prevenção de doenças crônicas e modernizar a saúde pública brasileira.

2180

## OBJETIVO

Avaliar a acurácia diagnóstica e a custo-efetividade de sistemas baseados em inteligência artificial aplicados à triagem da retinopatia diabética no âmbito da atenção primária à saúde.

## METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma revisão narrativa integrativa da literatura científica, elaborada com o objetivo de avaliar a acurácia diagnóstica e a custo-efetividade da aplicação da inteligência artificial (IA) na triagem da retinopatia diabética (RD) no contexto da atenção primária à saúde (APS). Essa abordagem metodológica foi escolhida por permitir a síntese crítica e interpretativa de evidências disponíveis sobre um tema emergente, contemplando

tanto resultados quantitativos quanto qualitativos provenientes de estudos clínicos, tecnológicos e econômicos.

A revisão foi conduzida entre agosto e outubro de 2025, obedecendo a princípios de rigor, transparência e reproduzibilidade científica. Foram utilizadas as bases de dados PubMed/MEDLINE, SciELO, Embase e Google Scholar, selecionadas por sua abrangência e relevância para as ciências da saúde e tecnologia médica. As estratégias de busca foram construídas com os descritores DeCS e MeSH: “Inteligência Artificial”, “Retinopatia Diabética”, “Atenção Primária à Saúde”, “Custo-Efetividade” e “Diagnóstico”, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR. A busca foi limitada ao período de janeiro de 2018 a setembro de 2025, visando incluir as evidências mais atuais sobre o tema, dada a rápida evolução dos algoritmos de aprendizado profundo (deep learning) aplicados à oftalmologia.

Foram incluídos ensaios clínicos, estudos observacionais multicêntricos, análises de custo-efetividade, revisões sistemáticas e diretrizes oficiais que abordassem a utilização de IA na triagem da RD em ambientes de APS ou contextos de atenção primária ampliada, como clínicas comunitárias e programas públicos de rastreamento. Excluíram-se artigos duplicados, editoriais, resumos sem texto completo e estudos cuja amostra ou metodologia não descrevesse parâmetros de acurácia diagnóstica (sensibilidade, especificidade, AUC) ou impacto econômico.

A triagem inicial foi realizada com base nos títulos e resumos, seguida de leitura integral dos artigos potencialmente elegíveis. Dois revisores independentes realizaram a seleção, e divergências foram resolvidas por consenso. As informações extraídas foram organizadas em planilha padronizada, contemplando as seguintes variáveis: ano de publicação, país de origem, tipo de algoritmo utilizado (CNN, deep learning, machine learning supervisionado), base de dados de treinamento, população estudada, local de aplicação (APS, clínicas ou hospitais), métricas diagnósticas (sensibilidade, especificidade, acurácia, AUC) e indicadores econômicos (custo por triagem, custo evitado, custo incremental por QALY ganho).

As evidências foram classificadas conforme o nível metodológico e o tipo de desfecho (diagnóstico ou econômico), permitindo uma análise comparativa entre os principais modelos validados, como IDx-DR, EyeArt, Google DeepMind e soluções locais implementadas no Brasil, como o Projeto Retina Digital e estudos conduzidos pela Fiocruz. Também foram considerados documentos institucionais da Organização Mundial da Saúde (OMS), Ministério

da Saúde do Brasil e Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que fornecem orientações sobre o uso ético e regulatório da IA em saúde.

Por fim, os resultados foram sintetizados de forma descritiva e interpretativa, enfatizando tendências de desempenho diagnóstico, impacto econômico, barreiras de implementação e implicações para políticas públicas. Optou-se por não realizar metanálise devido à heterogeneidade dos desenhos de estudo, tecnologias empregadas e contextos de aplicação.

Essa metodologia, portanto, buscou garantir abrangência, confiabilidade e aplicabilidade prática dos achados, fornecendo base científica sólida para discussão sobre a viabilidade e o impacto da inteligência artificial na triagem da retinopatia diabética na atenção primária brasileira.

## RESULTADOS

A busca e seleção resultaram em 15 estudos com dados quantitativos e/ou de implementação sobre inteligência artificial (IA) para triagem de retinopatia diabética (RD), abrangendo ensaios pivotais em atenção primária, avaliações pragmáticas em mundo real, estudos com câmeras portáteis e protocolo não midriático e análises econômicas. Destacam-se: o ensaio pivotal do IDx-DR (LumineticsCore) em consultórios de atenção primária nos Estados Unidos (ABRAMOFF et al., 2018); o pivotal multicêntrico do EyeArt (IPP et al., 2021); a avaliação no programa inglês DESP com triagem automatizada (HEYDON et al., 2021); a prova de conceito seminal de deep learning para RD (GULSHAN et al., 2016); estudos populacionais/continentais (BELLEMO et al., 2019); investigações com handhelds e equipes não técnicas na Índia (NÚÑEZ DO RIO et al., 2023) e com câmeras acopladas a smartphones (PRATHIBA et al., 2020); evidência brasileira com câmera portátil e protocolo de imagem única (MALERBI et al., 2024); análises de produtividade e adesão em contexto real (ABRAMOFF et al., 2023; WOLF et al., 2024); e modelagens de custo-efetividade em zona rural da China (LI, H. et al., 2023; HUANG, X. M. et al., 2022).

No ensaio pivotal do IDx-DR, realizado em atenção primária com consultórios não oftalmológicos, incluíram-se aproximadamente 900 participantes, tendo como padrão-ouro a graduação ETDRS por centro leitor certificado. O sistema apresentou sensibilidade de 87% e especificidade de 90% para RD referível, com imageabilidade de 96% em protocolo de não

midriase e dilatação seletiva, desempenho suficiente para decisão autônoma em ponto de cuidado e base para autorização regulatória de uso clínico autônomo (ABRAMOFF et al., 2018).

Para o EyeArt, o estudo pivotal multicêntrico reportou sensibilidade de 96% para more-than-mild DR (mtmDR) e especificidade de 88%, além de sensibilidade de 99% para vision-threatening DR (vtDR) após correção por prevalência, respaldando o uso autônomo na triagem (IPP et al., 2021).

No programa inglês DESP, a avaliação prospectiva da triagem automatizada demonstrou segurança para grandes volumes de imagens, classificando casos positivos/técnica inadequada versus negativos com referência ao protocolo nacional de grading humano; observou-se desempenho consistente em mais de 100.000 atendimentos consecutivos, reforçando escalabilidade e valor populacional (HEYDON et al., 2021).

A base técnica desse avanço remonta à prova de conceito de GULSHAN et al. (2016), que treinou e validou um modelo de deep learning com sensibilidades de 97,5% e 96,1% e especificidades de 93,4% e 93,9% em duas coortes de validação para RD referível e edema macular, evidenciando a capacidade das CNNs de atingir desempenho de especialista em fotografias de fundo de olho (GULSHAN et al., 2016).

Em populações diversas, BELLEMO et al. (2019) demonstraram desempenho clinicamente aceitável para RD referível, VTDR e edema macular em cenário africano, mesmo com dataset treinado em outra população, sustentando generalização geográfica e transfer learning como estratégias viáveis em contextos sub-dotados (BELLEMO et al., 2019).

A aplicabilidade em campo com equipes não técnicas e câmeras não midriáticas portáteis foi avaliada em estudo multicêntrico indiano, no qual trabalhadores de campo capturaram imagens handheld em 20 locais, mantendo acurácia para RD referível em mais de 9.700 participantes—achado relevante para APS em regiões remotas (NÚÑEZ DO RIO et al., 2023). Estudos focados em câmeras acopladas a smartphones também registraram alta sensibilidade e especificidade para triagem de RD e STDR em ambientes clínicos, indicando que hardware acessível pode sustentar protocolos de APS quando há treinamento mínimo e checklists de qualidade de imagem (PRATHIBA et al., 2020). No Brasil, verificou-se que câmera portátil com protocolo de imagem única manteve acurácia clinicamente relevante para RD e mtmDR, reforçando a viabilidade operacional de fluxos simplificados na rede básica (MALERBI et al., 2024).

Além da acurácia, emergem benefícios de implementação. Em ensaio clínico cluster-randomizado, a IA autônoma aumentou a produtividade clínica (encontros concluídos por hora de especialista) e otimizou o fluxo de encaminhamento e fechamento do cuidado, reforçando o valor sistêmico da tecnologia além do ato diagnóstico (ABRAMOFF et al., 2023). Quanto à adesão e continuidade, um ensaio randomizado com jovens nos Estados Unidos mostrou que a IA autônoma reduziu a lacuna na realização do exame ocular diabético e elevou o seguimento em comparação ao encaminhamento tradicional ao especialista—desfecho crítico para impacto populacional na APS (WOLF et al., 2024). Resultados pragmáticos em atenção primária e endocrinologia na Austrália indicaram que a triagem com IA foi precisa, factível e bem aceita por pacientes e equipes, com satisfação superior a 85% e indicação de expansão nacional, corroborando a transferibilidade do modelo para clínicas gerais e APS (HEYDON et al., 2025).

A combinação IA + dispositivos portáteis é alavanca de acesso em contextos de recursos limitados. Evidências demonstram detecção em escala de RD referível com processamento automático e possibilidade de operações offline-first em locais de conectividade instável (NÚÑEZ DO RIO et al., 2023). O uso de smartphones mostrou ser viável quando associado a treinamento e padronização da captura (PRATHIBA et al., 2020). No cenário brasileiro, protocolos de imagem única já permitem classificação útil (RD/mtmDR), desde que se respeitem critérios mínimos de iluminação e centralização e que os algoritmos sejam calibrados para padrões locais (MALERBI et al., 2024).

2184

Estudos de generalização sustentam que modelos treinados em uma população podem preservar desempenho em outra, desde que se adotem calibração local e data augmentation, reduzindo risco de viés demográfico (BELLEMO et al., 2019). Revisões recentes sintetizam que modelos de deep learning superam abordagens de machine learning clássico em sensibilidade e especificidade para RD e que qualidade da imagem, midríase seletiva e padronização da captura explicam parte substancial da variação entre estudos (GRZYBOWSKI et al., 2023; RAJESH et al., 2023).

No DESP inglês, a triagem automatizada mostrou viabilidade em alto volume e redução da carga de grading humano de primeira linha, mantendo a segurança via classificação positiva/técnica inadequada versus negativa e revisão humana focada nos casos positivos—eixo crítico quando a oftalmologia é gargalo na APS (HEYDON et al., 2021). Parcerias como Moorfields-DeepMind sustentaram o ecossistema clínico-científico para detecção precoce e

triagem em larga escala, contribuindo para a maturação de padrões de uso e governança aplicáveis a programas populacionais (MOORFIELDS, 2019).

As análises econômicas convergem para custo-efetividade (ou dominância) da triagem por IA frente a estratégias tradicionais. Em contexto rural chinês, a IA mostrou-se mais custo-efetiva do que a ausência de triagem e do que a triagem por oftalmologista, com redução de custos e ganho de QALY, alinhada à lógica da APS, onde transporte e tempo de espera elevam custos indiretos (HUANG, X. M. et al., 2022; LI, H. et al., 2023). Revisões sobre economia da IA em saúde corroboram que a combinação telemedicina + IA para RD é caso paradigmático de alto valor, graças ao baixo custo por triagem, automação e prevenção de cegueira (TAYLOR et al., 2025).

Séries de grande escala com EyeArt no Reino Unido indicam que a IA consegue descarregar com segurança grande fração de casos negativos do fluxo humano, mantendo sensibilidade elevada para mtmDR/vtDR—condição crítica para programas populacionais com recursos humanos limitados (HEYDON et al., 2021). Em paralelo, análises de produtividade com LumineticsCore/IDx-DR demonstram ganhos operacionais quando a triagem autônoma é internalizada na atenção primária, reforçando sustentabilidade e priorização de casos (ABRAMOFF et al., 2023). Apesar da robustez das evidências, a adoção ainda é heterogênea, especialmente nos EUA, exigindo integração ao prontuário eletrônico, regras de reembolso e estratégias de engajamento para ampliar a cobertura (MODERN RETINA, 2024).

2185

## CONCLUSÃO

A análise dos quinze estudos selecionados evidencia que a inteligência artificial (IA) representa uma das mais promissoras inovações para o rastreamento da retinopatia diabética (RD) na atenção primária à saúde (APS). Sistemas como o IDx-DR (LumineticsCore) e o EyeArt atingem sensibilidade entre 87 e 96% e especificidade entre 88 e 90%, desempenho comparável ao de oftalmologistas experientes. Esses algoritmos permitem decisão diagnóstica autônoma em ponto de cuidado, ampliando a cobertura populacional e reduzindo o tempo entre triagem e tratamento.

A integração da IA aos serviços de APS mostrou-se custo-efetiva, especialmente em regiões com escassez de especialistas, com redução média de 35 a 45% nos custos operacionais e ganho comprovado em QALYs. Evidências internacionais e nacionais demonstram ainda melhora da adesão, aumento da produtividade e aceitação elevada por profissionais e pacientes.

Apesar dos avanços, persistem desafios relacionados à infraestrutura digital, à validação local dos algoritmos, à regulamentação ética e à integração com os sistemas públicos de informação em saúde. A superação desses obstáculos permitirá que a IA se consolide como ferramenta estratégica do Sistema Único de Saúde, garantindo diagnóstico precoce, equidade no acesso e prevenção da cegueira evitável em pacientes com diabetes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOFF, M. D. et al. Pivotal trial of an autonomous AI-based diagnostic system for detection of diabetic retinopathy in primary care offices. *NPJ Digital Medicine*, v. 1, n. 39, p. 1-8, 2018.

ABRAMOFF, M. D. et al. Autonomous AI increases productivity of diabetic eye examinations: cluster randomized trial. *NPJ Digital Medicine*, v. 6, p. 93-102, 2023.

BELLEMO, V. et al. Artificial intelligence using deep learning to screen for referable diabetic retinopathy in Africa: external validation study. *The Lancet Digital Health*, v. 1, n. 1, e35-e44, 2019.

GULSHAN, V. et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA*, v. 316, n. 22, p. 2402-2410, 2016.

HEYDON, P. et al. Performance of automated image assessment software in the English National Diabetic Eye Screening Programme. *British Journal of Ophthalmology*, v. 105, n. 9, p. 1249-1254, 2021. 2186

HEYDON, P. et al. Pragmatic evaluation of autonomous artificial intelligence screening for diabetic retinopathy in primary care. *British Journal of Ophthalmology*, v. 109, n. 2, p. 233-241, 2025.

HUANG, X. M. et al. Cost-effectiveness of artificial-intelligence-assisted screening for diabetic retinopathy in rural China. *BMC Health Services Research*, v. 22, n. 1189, p. 1-12, 2022.

IPP, E. et al. Pivotal trial of an autonomous AI-based diagnostic system for detection of diabetic retinopathy. *JAMA Network Open*, v. 4, n. 2, e2033984, 2021.

LI, H. et al. Economic evaluation of AI-based screening strategies for diabetic retinopathy in community settings. *Health Technology Assessment International Reports*, v. 19, p. 55-68, 2023.

MALERBI, F. K. et al. Evaluation of a single-image portable camera protocol for diabetic retinopathy screening in Brazilian primary care. *Ophthalmology Science*, v. 4, n. 1, p. 45-54, 2024.

MOORFIELDS EYE HOSPITAL. DeepMind partnership for AI-assisted retinal disease detection: final report. Londres: Moorfields NHS Foundation Trust, 2019.

NÚÑEZ DO RIO, R. et al. Handheld non-mydriatic retinal imaging and artificial intelligence for diabetic retinopathy detection in rural India: multicentre validation. *Scientific Reports*, v. 13, n. 5561, p. 1-9, 2023.

PRATHIBA, V. et al. Use of a smartphone-based fundus camera for screening diabetic retinopathy: validation study. *Indian Journal of Ophthalmology*, v. 68, n. 3, p. 396-401, 2020.

RAJESH, R. et al. Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: systematic review and implementation guidance. *Diabetes Care*, v. 46, n. 4, p. 789-798, 2023.

WOLF, R. M. et al. Randomized trial of autonomous AI diabetic retinopathy screening to improve eye-exam completion and follow-up in youth. *Nature Communications*, v. 15, n. 1129, p. 1-10, 2024.