

FACULDADE DE MEDICINA NOVA ESPERANÇA  
CURSO DE RESIDÊNCIA MÉDICA EM OFTALMOLOGIA

EMERSON TIAGO SILVA DE OLIVEIRA

**USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO RASTREAMENTO DA RETINOPATIA  
DIABÉTICA: REVISÃO NARRATIVA DE LITERATURA**

JOÃO PESSOA 2026

**USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO RASTREAMENTO DA RETINOPATIA  
DIABÉTICA: REVISÃO NARRATIVA DE LITERATURA**

Monografia apresentada à Faculdade Nova  
Esperança, como parte dos requisitos exigidos  
para a conclusão do curso de Residência  
Médica em Oftalmologia.

Orientador(a): Esp. Natália Albuquerque  
Lucena de Figueiredo

O46u

Oliveira, Emerson Tiago Silva de

Uso da inteligência artificial no rastreamento da retinopatia diabética: revisão narrativa de literatura / Emerson Tiago Silva de Oliveira. – João Pessoa, 2026.  
29f.; il.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Esp. Natália Albuquerque Lucena de Figueiredo.

Monografia (Residência Médica em Oftalmologia) – Faculdade Nova Esperança - FAMENE

1. Retinopatia Diabética. 2. Inteligência Artificial. 3. Programas de Rastreamento. 4. Diagnóstico. I. Título.

CDU: 617.7

## USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO RASTREAMENTO DA RETINOPATIA DIABÉTICA: REVISÃO NARRATIVA DE LITERATURA

Relatório apresentado à Faculdade Nova Esperança como parte das exigências para a obtenção do título de Especialista em Oftalmologia.

João Pessoa, 11 de fevereiro de 2026.

### BANCA EXAMINADORA

*Natália A. Lucena de Figueiredo*

---

Prof. Esp. Natália Albuquerque Lucena de Figueiredo (Orientadora)  
(Faculdade de Medicina Nova Esperança - FAMENE)

*Mário Augusto Pereira Dias Chaves*

---

Prof. Esp. Mário Augusto Pereira Dias Chaves  
(Faculdade de Medicina Nova Esperança - FAMENE)

*Camila Vigolvinho Lopes Pinto*

---

Prof. Esp. Camila Vigolvinho Lopes Pinto  
(Faculdade de Medicina Nova Esperança - FAMENE)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me conceder saúde, força e sabedoria tão necessários ao longo de toda essa trajetória, me sustentando e me dando coragem para enfrentar os desafios diários e possibilitando a realização deste trabalho.

À minha esposa, Denyse, pelo amor, apoio incondicional e irrestrito, compreensão e incentivo diário, essenciais para vencer essa etapa de nossas vidas. À minha filha, Maria Letícia, fonte de toda alegria e motivação, o seu sorriso e seu abraço são o que me dá forças para enfrentar qualquer desafio. Ao meu filho Gabriel, que está por nascer, e que representa esperança, renovação e ainda mais amor em nossa família, também dedico este trabalho a você meu filho. Ao meu parceiro, Lupin, que sempre esteve comigo nas madrugadas de estudo e me dando carinho nos momentos de cansaço e sono.

Aos amigos residentes, pela parceria, troca de experiências e apoio diário e recíproco durante a nossa formação, tudo isso contribuiu para um ambiente leve e confortável para o aprendizado.

Aos preceptores e a todo o Serviço de Oftalmologia da Faculdade de Medicina Nova Esperança, pela dedicação, orientação e ensinamentos compartilhados, que foram de fundamental importância para minha formação profissional.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação pessoal e profissional ao longo desses 3 anos de residência.

## RESUMO

**Introdução:** A retinopatia diabética é considerada uma das principais causas de cegueira evitável em adultos em idade produtiva, representando um importante problema de saúde pública no mundo. O aumento da prevalência do diabetes mellitus, associado à dificuldade de acesso a serviços oftalmológicos, torna o rastreamento e diagnóstico precoces um grande desafio, principalmente em regiões com escassez de especialistas. **Objetivos:** Avaliar o papel da inteligência artificial no rastreamento e diagnóstico da retinopatia diabética, identificando suas principais aplicações, os tipos de algoritmos mais utilizados, sua eficácia em comparação aos métodos convencionais e as limitações para sua aplicação na prática oftalmológica. **Métodos:** Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, realizada por meio de buscas nas bases de dados PubMed, Google Acadêmico e SciELO, analisando um total de 28 estudos entre os anos de 2020 e 2025. Os estudos foram selecionados por meio de critérios de inclusão e exclusão definidos previamente. **Revisão da literatura:** Os estudos analisados demonstram que os sistemas baseados em inteligência artificial, especialmente aqueles estruturados com algoritmos de aprendizado profundo e redes neurais convolucionais, apresentam elevada sensibilidade e especificidade no rastreamento e diagnóstico da retinopatia diabética, com desempenho comparável ao de especialistas em contextos específicos. A literatura aponta benefícios relacionados à padronização dos resultados, à triagem em larga escala e à ampliação do acesso ao diagnóstico. Por outro lado, também são descritas limitações quanto à qualidade das imagens captadas, à generalização dos algoritmos, à interpretabilidade dos modelos e aos aspectos éticos e de infraestrutura. **Conclusão:** A inteligência artificial surge como uma ferramenta promissora e complementar ao trabalho do oftalmologista, com considerável potencial para aumentar o acesso ao diagnóstico precoce e contribuir para a redução da cegueira evitável associada à retinopatia diabética, porém para adequada implementação é preciso que haja validação científica, regulamentação e capacitação profissional. **Palavras-chave:** Retinopatia diabética; Inteligência artificial; Programas de Rastreamento; Diagnóstico.

## ABSTRACT

**Introduction:** Diabetic retinopathy is considered one of the leading causes of preventable blindness among adults of working age, representing a significant public health problem worldwide. The increasing prevalence of diabetes mellitus, combined with limited access to ophthalmological services, makes early screening and diagnosis a major challenge, particularly in regions with a shortage of specialists. **Objectives:** To evaluate the role of artificial intelligence in the screening and diagnosis of diabetic retinopathy, identifying its main applications, the most commonly used types of algorithms, their effectiveness compared to conventional methods, and the limitations for their implementation in ophthalmic practice. **Methods:** This is a narrative literature review conducted through searches in the PubMed, Google Scholar, and SciELO databases, analyzing a total of 28 studies published between 2020 and 2025. The studies were selected based on previously defined inclusion and exclusion criteria. **Literature Review:** The analyzed studies demonstrate that artificial intelligence–based systems, especially those structured with deep learning algorithms and convolutional neural networks, show high sensitivity and specificity in the screening and diagnosis of diabetic retinopathy, with performance comparable to that of specialists in specific contexts. The literature highlights benefits related to result standardization, large-scale screening, and expanded access to diagnosis. On the other hand, limitations are also reported regarding image quality, algorithm generalizability, model interpretability, as well as ethical and infrastructure-related issues. **Conclusion:** Artificial intelligence emerges as a promising and complementary tool to the ophthalmologist’s work, with considerable potential to increase access to early diagnosis and contribute to reducing preventable blindness associated with diabetic retinopathy. However, for appropriate implementation, scientific validation, regulation, and professional training are required.

**Keywords:** Diabetic retinopathy; Artificial intelligence; Screening programs; Diagnosis.

## LISTA DE ABREVIATURAS

AAO – American Academy of Ophthalmology

ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária

CBO – Conselho Brasileiro de Oftalmologia

CNN – Convolutional Neural Network (Rede Neural Convolutacional)

DL – Deep Learning

DM1 – Diabetes Mellitus tipo 1

DM2 – Diabetes Mellitus tipo 2

EMD – Edema Macular Diabético

HAS – Hipertensão Arterial Sistêmica

IA – Inteligência Artificial

ML – Machine Learning

MS – Ministério da Saúde

OCT – Tomografia de Coerência Óptica

OMS – Organização Mundial da Saúde

RD – Retinopatia Diabética

RDNP – Retinopatia Diabética Não Proliferativa

RDP – Retinopatia Diabética Proliferativa

SUS – Sistema Único de Saúde

VEGF – Fator de Crescimento Endotelial Vascular

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivo específico .....	11
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
3.1 Caracterização do estudo .....	12
3.2 Local e período do estudo .....	12
3.3 Critérios de inclusão e exclusão .....	12
3.4 Procedimento de coleta de dados .....	12
<b>4 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
4.1 Retinopatia diabética .....	16
4.2 Inteligência artificial .....	18
4.2.1 Papel da IA no rastreamento e diagnóstico da retinopatia diabética .....	18
4.2.2 Tipos de algoritmos de IA mais utilizados .....	19
4.2.3 Eficácia da IA versus métodos convencionais de rastreio e diagnóstico .....	20
4.2.4 Limitações e desafios para aplicação na prática oftalmológica.....	22
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>24</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>26</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O diabetes mellitus é um grave problema de saúde de ordem global, acometendo uma significativa parcela da população mundial (SILVA *et al.*, 2025). Uma das principais complicações do diabetes é a retinopatia diabética (RD): uma complicação microvascular crônica que se enquadra entre uma das principais causas de cegueira no mundo (MENEZES, 2025). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a RD é uma das principais causas de cegueira evitável no mundo, principalmente em adultos em idade produtiva. Estima-se que mais de 100 milhões de pessoas vivam atualmente com algum grau da doença (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2016; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2019). No Brasil, o Ministério da Saúde (MS) estima que cerca de 16 milhões de pessoas são portadoras de diabetes mellitus, sendo a RD uma de suas complicações mais importantes, associada à perda visual e à cegueira evitável (BRASIL, 2022).

O rastreamento, o diagnóstico e o acompanhamento da RD são um desafio devido à concentração de oftalmologistas em grandes centros em detrimento das áreas mais remotas, além do próprio negligenciamento de saúde por parte de muitos pacientes, muitas vezes assintomáticos, e com dificuldade de acesso aos oftalmologistas (BUSTAMANTE; CADELCA; LEAL, 2025). Nesse sentido, a aplicação de sistemas baseados em inteligência artificial (IA), com capacidade de rastreamento massivo, surge como uma estratégia promissora e efetiva para diminuir o subdiagnóstico (CARVALHO *et al.*, 2022).

Segundo Menezes (2025), estudos recentes mostram que sistemas baseados em IA apresentam desempenho comparável ao de oftalmologistas experientes em contextos de rastreamento da RD, principalmente na análise de imagens de fundo e na identificação de casos com indicação de encaminhamento. Essa equivalência está relacionada a desfechos diagnósticos na identificação da retinopatia diabética referenciável, possibilitando a utilização da IA como uma ferramenta adicional na triagem na atenção primária à saúde, em programas de telemedicina e em regiões com carência de oftalmologistas.

Mesmo com os inúmeros avanços no uso de ferramentas automatizadas, ainda existem barreiras para a sua consolidação no dia a dia clínico: o alto custo de implementação, a necessidade de infraestrutura tecnológica, a padronização dos algoritmos e aspectos éticos relacionados à privacidade de dados e responsabilidade diagnóstica (MENEZES, 2025).

Diante desse contexto, torna-se evidente que a IA representa uma ferramenta promissora na prevenção e diagnóstico da retinopatia diabética, com impacto direto na redução da cegueira evitável e na melhoria da qualidade de vida das pessoas. Sua consolidação depende, entretanto,

de esforços para sua validação científica, da capacitação de profissionais e da adequação ética, de forma que a tecnologia seja uma ferramenta complementar ao profissional médico (BUSTAMANTE; CADELCA; LEAL, 2025).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o papel da IA no rastreamento e diagnóstico da RD, elencando suas aplicações, potenciais benefícios e suas limitações na prática oftalmológica.

### **2.2 Objetivos específicos**

Identificar os tipos de algoritmos de IA mais utilizados para o rastreamento e diagnóstico da RD.

Comparar a eficácia da IA com os métodos convencionais de rastreamento e diagnóstico da RD.

Descrever as limitações para aplicação da IA na prática oftalmológica.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização do estudo**

O presente estudo consiste em uma revisão narrativa da literatura, conduzida com o objetivo de sintetizar as evidências disponíveis sobre a aplicação de sistemas baseados em IA no rastreamento e diagnóstico da RD.

#### **3.2 Local e período do estudo**

A busca e o levantamento dos dados foram executados em ambiente virtual, a partir de publicações anexadas nas bases de dados científicas on-line, incluindo a *U.S. National Library of Medicine (PubMed)*, o *Google Acadêmico* e a *Scientific Electronic Library Online (SciELO)*. As coletas de dados ocorreram entre outubro de 2025 e novembro de 2025.

#### **3.3 Critérios de inclusão e exclusão**

Como critérios de inclusão foram utilizados artigos originais, revisões de literatura, estudo transversal, ensaio clínico randomizado, tese de mestrado e doutorado que abordassem o uso da IA no rastreamento e diagnóstico da RD publicados nos idiomas português e inglês, no período entre 2016 e 2025. Foram excluídos artigos em duplicidade, relato de casos isolados, artigos sem acesso completo e publicações anteriores ao período proposto como critério de inclusão. Ao todo, 28 estudos atenderam aos critérios de elegibilidade e foram incluídos na análise final.

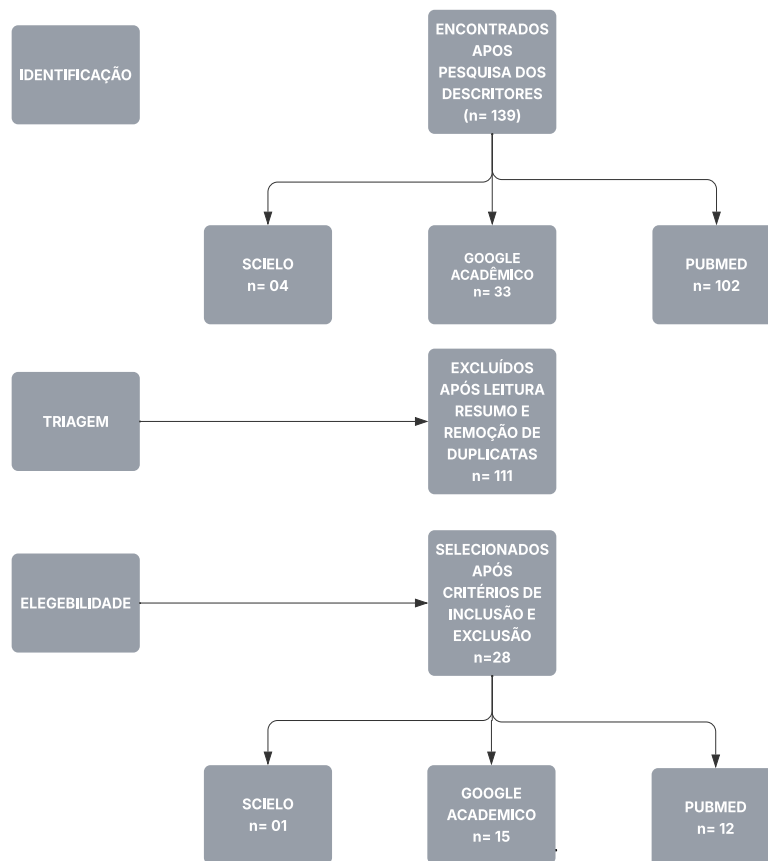
#### **3.4 Procedimento de coleta de dados**

Na base SciELO, foram identificados inicialmente quatro artigos, dos quais apenas um foi selecionado após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. No PubMed, a busca inicial resultou em 102 artigos, sendo 12 selecionados ao final do processo de triagem. Já no Google Acadêmico, foram encontrados 33 artigos, dos quais 15 atenderam aos critérios estabelecidos e foram incluídos na análise.

A busca foi realizada utilizando os seguintes descritores em saúde: ("diabetic

retinopathy" OR "retinopatia diabética") AND ("artificial intelligence" OR "inteligência artificial" OR "deep learning" OR "machine learning") AND ("screening" OR "diagnosis" OR "rastreamento" OR "diagnóstico"). No PubMed, foram utilizados os termos MeSH correspondentes. A busca foi limitada a publicações entre janeiro de 2020 e dezembro de 2025, nos idiomas português e inglês. A figura 1 representa o fluxograma do processo de seleção dos estudos, bem como a tabela 1 mostra a distribuição dos estudos conforme os tipos, algoritmos utilizados, base de imagens e os principais desfechos.

Figura 1 – Fluxograma do processo de seleção dos estudos



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Tabela 1 – Distribuição dos estudos conforme tipo de estudo, algoritmo de IA, base de imagens e principais desfechos

Categoria	Descrição	Quantidade de estudos
Tipo de estudo	Revisão narrativa / integrativa	10
	Estudo observacional / transversal	8
	Estudo prospectivo / multicêntrico	6
	Ensaio clínico	4
Algoritmo de IA	Deep learning (CNNs)	18
	Machine learning (ML)	6
	Modelos híbridos ou outros	4
Base de imagens	Retinografias coloridas digitais	16
	Retinografia portátil / smartphone	7
	OCT associado a retinografia	5
Desfechos	Sensibilidade e especificidade diagnóstica	20
	Detecção RD referenciável	15
	Custo-efetividade	8

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

### 3.5 Procedimento de análise de dados

Após a busca inicial nas bases de dados, os títulos e resumos dos estudos encontrados foram avaliados, com o objetivo de identificar aqueles que estão de acordo com o tema do uso da IA no rastreamento e diagnóstico da RD. Os artigos considerados relevantes foram analisados em sua totalidade, e seus principais resultados foram utilizados com fundamentação

teórica para a produção do trabalho em questão, abordando a problemática relacionada à eficácia no rastreamento e diagnóstico, às limitações técnicas e às perspectivas futuras para implementação da IA na prática oftalmológica.

### **3.6 Limitações do estudo**

As limitações deste estudo estão relacionadas à sua característica de revisão narrativa da literatura, que não segue protocolos padronizados, o que pode resultar em viés de seleção e dificultar a reprodução dos achados.

Adicionalmente, a diversidade metodológica entre os estudos analisados, relacionadas às estratégias metodológicas, tipos de algoritmos de IA, bases de dados utilizadas, dispositivos de captura de imagem e desfechos avaliados, dificultam as comparações entre os resultados. Somam-se a isso a restrição temporal e de idiomas, a limitação das bases de dados consultadas e a possibilidade de viés de publicação, fatores que podem influenciar a interpretação e as conclusões apresentadas.

## 4 REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1 Retinopatia diabética

A RD é caracterizada por complicações microvasculares do diabetes mellitus e representa uma importante causa de cegueira evitável em adultos jovens e indivíduos em idade produtiva. O Conselho Brasileiro de Oftalmologia (CBO) e a American Academy of Ophthalmology (AAO) caracterizam a RD como uma doença crônica, progressiva e multifatorial.

Segundo o CBO, a RD está entre as principais causas de cegueira irreversível no Brasil, cuja prevalência aumenta no decorrer da evolução do diabetes. Estima-se que após 20 anos de doença, cerca de 90% dos pacientes com diabetes tipo 1 (DM1) e até 60% dos pacientes com diabetes tipo 2 (DM2) poderão apresentar alguma forma ou grau de RD.

A AAO ressalta que a RD é uma doença com elevado impacto socioeconômico entre as diversas causas de perda visual evitável. Ressalta, ainda, que o risco de adquirir e a progressão da RD aumentam de forma considerável em casos de hemoglobina glicosilada (HbA1c) elevada, hipertensão arterial sistêmica (HAS), dislipidemia e doença renal diabética.

Segundo a AAO, a RD é uma doença microvascular progressiva causada pela exposição prolongada da retina à hiperglicemia, o que leva a alterações estruturais e funcionais na microcirculação retiniana. A hiperglicemia promove danos às células endoteliais, espessamento da membrana basal, comprometimento da barreira hemoatorretiniana e perda dos pericitos, com consequente formação de microaneurismas e aumento das zonas avasculares intercapilares, levando a graus variados de oclusão capilar e má-perfusão retiniana (AMERICAN ACADEMY OF OPHTHALMOLOGY, 2024). O dano vascular persistente e progressivo estimula a produção de fatores angiogênicos, como os fatores de crescimento endotelial vascular (VEGF) que são responsáveis pelo aumento da permeabilidade vascular e pelo estímulo à neovascularização (AMERICAN ACADEMY OF OPHTHALMOLOGY, 2024). A AAO aponta, ainda, a importância da inflamação crônica e da neurodegeneração retiniana, como fatores que podem preceder e até mesmo intensificar as alterações vasculares.

Sendo assim, a fisiopatologia da RD é resultante da correlação de diversos fatores como a hiperglicemia crônica, dano microvascular, isquemia retiniana, aumento de VEGF, inflamação e neurodegeneração.

Quanto à classificação da RD, a AAO adota a escala baseada no estudo ETDRS. Essa escala organiza a doença em fases não proliferativas e proliferativas, além de classificar em separado o edema macular diabético (EMD). A retinopatia diabética não proliferativa (RDNP)

representa os estágios iniciais da doença, sendo dividida em leve, moderada, grave e muito grave. Na forma leve apresenta microaneurismas e/ou hemorragias intrarretinianas leves em menos de quatro quadrantes. Na forma moderada há um aumento na quantidade de microaneurismas, hemorragias intrarretinianas e podem surgir exsudatos duros, manchas algodinosas ou alterações microvasculares intrarretinianas (IRMA), ou seja, possui achados intermediários entre a forma leve e a forma grave. A RDNP grave segue a “regra 4:2:1”, com a presença de microaneurismas e/ou hemorragias intrarretinianas em quatro quadrantes, ingurgitamento venoso em pelo menos dois quadrantes, ou IRMA moderada em um quadrante. Quando dois ou mais desses critérios estão presentes, classifica-se como RDNP muito grave, com elevado risco de progressão para retinopatia diabética proliferativa (RDP) (AMERICAN ACADEMY OF OPHTHALMOLOGY, 2024).

A RDP é caracterizada pelo surgimento de neovascularização, sendo classificada em formas com e sem alto risco. A RDP sem alto risco apresenta neovasos de disco óptico ou em outras regiões da retina, mas não há hemorragia vítrea ou pré-retiniana. Por outro lado, na RDP de alto risco há neovasos de disco igual ou superior a um quarto a um terço do diâmetro do disco, com ou sem hemorragia associada, ou qualquer neovascularização associada a hemorragia vítrea ou pré-retiniana. Essa fase representa risco elevado para perda visual severa e requer intervenção terapêutica imediata (AMERICAN ACADEMY OF OPHTHALMOLOGY, 2024).

Segundo a AAO, o EMD é a principal causa de redução da acuidade visual em pacientes com RD. O mesmo é classificado separadamente, pois pode ocorrer em qualquer estágio da doença. A AAO adota uma classificação baseada no OCT, quanto ao envolvimento ou não da região central da fóvea, classificação esta que determina quais medidas terapêuticas devem ser tomadas. Nos casos em que o edema não envolve a região central da fóvea a conduta é expectante, podendo o tratamento com laser ser indicado em casos selecionados, como persistência ou progressão do edema. Por outro lado, quando há envolvimento da região central da fóvea é indicado o uso de anti-VEGF como tratamento padrão-ouro, devido à sua eficácia na redução do EMD e na melhora da acuidade visual. Corticoides intravítreos também podem ser considerados, porém como tratamento de segunda linha, por estarem associados a uma incidência aumentada de catarata e hipertensão ocular. O laser focal macular ou laser padrão *grid* deixou de ser padrão-ouro após a adoção dos anti-VEGF, mas podem ser utilizados guiados pelos pontos de extravazamento na angiofluoresceínografia, principalmente em casos de EMD refratários.

## **4.2 Inteligência artificial**

A IA vem alcançando cada vez mais espaço no rastreamento e diagnóstico da RD, principalmente diante do aumento da prevalência do diabetes, da escassez de oftalmologistas fora dos grandes centros e das limitações operacionais dos programas tradicionais de triagem. Os estudos mostram que a IA, especialmente por meio de algoritmos de aprendizado profundo, oferecem desempenho diagnóstico elevado, capacidade de atuar em larga escala e potencial para reorganizar fluxos assistenciais tanto em serviços públicos quanto privados.

### **4.2.1 Papel da IA no rastreamento e diagnóstico da retinopatia diabética**

A finalidade do rastreamento é identificar precocemente indivíduos com suspeita de doença, geralmente utiliza exames simples, como a retinografia, podendo ser realizado por profissionais não médicos treinados e com apoio de algoritmos de IA, sem finalidade de firmar um diagnóstico (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2016; AMERICAN ACADEMY OF OPHTHALMOLOGY, 2023). O diagnóstico é um processo realizado pelo oftalmologista, que envolve a avaliação clínica detalhada do fundo de olho e o uso de exames complementares, como OCT, sendo importante para a classificação da doença, definição da gravidade e escolha da conduta terapêutica (AMERICAN ACADEMY OF OPHTHALMOLOGY, 2023).

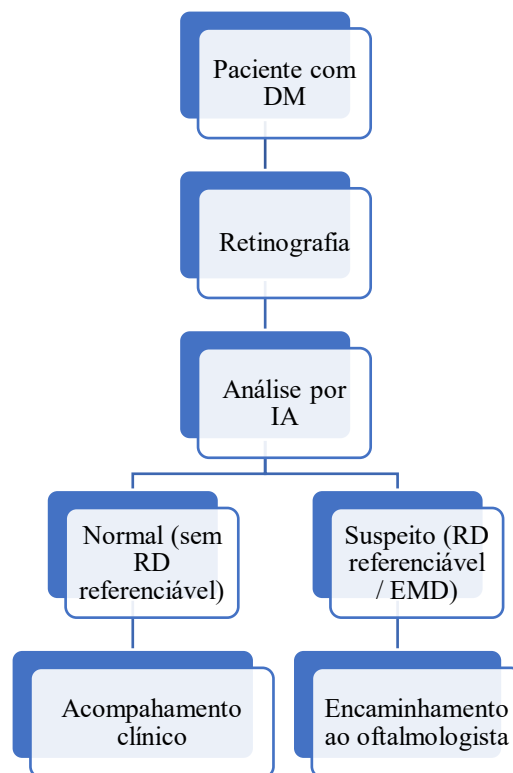
Na prática oftalmológica, a principal aplicação da IA na RD é o seu uso no rastreamento a partir de imagens de fundo de olho (retinografia), frequentemente realizado em ambientes de atenção primária, clínicas populares e programas de telessaúde. Em seu estudo, Alves (2024) descreve o uso de câmeras portáteis acopladas a smartphones e retinógrafos de baixo custo associados a softwares de IA, operados por profissionais não médicos, com envio das imagens para análise automatizada. Um exemplo ocorreu em Mumbai, onde um estudo com 1.378 pacientes na atenção primária utilizando retinógrafo portátil e software de IA obteve sensibilidade de 100% e especificidade próxima de 90% para detecção de RD com indicação de encaminhamento para oftalmologista, demonstrando a viabilidade da descentralização do rastreamento em grande escala (ALVES, 2024).

Além do rastreamento, o uso da IA também se aplica à classificação de gravidade da retinopatia diabética em RD não proliferativa (leve, moderada e grave) e proliferativa e à identificação de RD com grave ameaça à visão, auxiliando na priorização de encaminhamentos. Alguns algoritmos são capazes de reconhecer padrões específicos, como microaneurismas, hemorragias, exsudatos e alterações vasculares relevantes, enquanto sistemas mais avançados incorporam dados de OCT para avaliar o EMD e monitorar a progressão da doença.

Na realidade brasileira, revisões integrativas apontam ainda o uso da IA em plataformas de telessaúde e triagem em populações vulneráveis, inclusive com dispositivos portáteis em regiões remotas e em populações indígenas, contribuindo para reduzir barreiras geográficas e desigualdades no acesso ao diagnóstico (MORATO et al., 2025; FERREIRA et al., 2025).

A figura a seguir representa o fluxograma das principais etapas do processo, destacando o uso da IA na triagem inicial e a importância da avaliação oftalmológica para a confirmação diagnóstica e a conduta terapêutica.

Figura 2 – Fluxograma do rastreamento da RD com apoio da IA



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

#### 4.2.2 Tipos de algoritmos de IA mais utilizados

Os estudos revisados no presente trabalho enfatizam que, embora existam múltiplas abordagens de aprendizado da IA, os algoritmos de aprendizado profundo (*deep learning*), principalmente as redes neurais convolucionais (CNNs), são hoje os modelos predominantes no rastreamento e diagnóstico de RD.

Carvalho et al., (2022) classifica estes modelos da seguinte forma:

- **IA:** campo amplo que simula funções cognitivas humanas (reconhecimento de padrões, decisão etc.).
- **Machine Learning (ML):** subconjunto da IA em que a máquina aprende a partir de dados, por meio de técnicas estatísticas.
- **Deep Learning (DL):** subtipo de ML baseado em redes neurais artificiais de múltiplas camadas, capaz de extrair automaticamente as características relevantes da imagem sem necessidade de programação explícita das regras.

Nos métodos tradicionais de ML, o programador precisa definir, por exemplo, que o algoritmo deve “buscar microaneurismas, exsudatos, hemorragias” para diferenciar retina saudável de retina patológica. No DL, por outro lado, há o fornecimento de um conjunto de imagens rotuladas (saudável ou RD), e a rede aprende sozinha quais padrões diferenciam cada grupo e por vezes até identificando características que não são óbvias para o observador humano (CARVALHO et al., 2022).

Dentro do DL, as CNNs são o tipo de algoritmo mais presente nos estudos revisados:

- Segundo Bustamante (2023), em sua amostra de artigos, 11 estudos utilizaram CNNs, enquanto outros empregaram técnicas híbridas ou ML tradicional, com sensibilidade variando entre 85% e 97% e especificidade entre 82% e 95%, frequentemente comparável ou superior à avaliação de especialistas.
- Estudos como os de Gulshan et al. e Porwal et al. citados por FREIRE et al. (2022), relatam algoritmos de DL treinados com dezenas ou centenas de milhares de retinografias, alcançando sensibilidade em torno de 97,5% e especificidade acima de 93% na detecção de RD.

Além das CNNs, existem modelos clássicos de ML (como SVM, Random Forest e KNN) e abordagens mais recentes, como aprendizado federado (para manter privacidade de dados distribuídos) e modelos de linguagem de grande escala (LLMs) apoiando triagem e aconselhamento, embora estes tenham papel mais complementar (SILVA et al., 2025).

#### 4.2.3 Eficácia da IA versus métodos convencionais de rastreo e diagnóstico

De modo geral, os estudos apontam que a IA apresenta desempenho diagnóstico semelhante ou até mesmo superior aos métodos convencionais de rastreo baseados em interpretação humana de retinografias, especialmente para identificar casos que necessitam de encaminhamento.

Estudos como o de Wang et al. (apud CARVALHO et al., 2022), mostram que redes neurais detectaram corretamente 91,9% dos pacientes com RD e excluíram 91,3% dos casos

sem doença, desempenho que apresenta performance superior à de médicos oftalmologistas em vários cenários. Em outro exemplo brasileiro, um algoritmo CNN treinado com mais de 25 mil retinografias alcançou 94,5% de sensibilidade e 91,3% de especificidade para RD moderada em um centro de referência em São Paulo (BUSTAMANTE, 2023).

Estudos com sistemas autônomos internacionais reforçam esse resultado:

- Plataformas como IDx-DR, EyeArt e outros sistemas comerciais analisados por GRZYBOWSKI et al. (2020) e TING et al. (2023) exibem sensibilidades geralmente >85–90% e especificidades em torno de 90% para RD referenciável, com probabilidade <1% de falhar na detecção de casos graves (proliferativa ou com edema macular com ameaça à visão).
- Em cenários de telemedicina, análises econômicas demonstram que a IA permite triagem em larga escala com custo por paciente substancialmente reduzido, aumento da taxa de triagens anuais e maior proporção de pacientes corretamente encaminhados (COSTA et al., 2024; NAKAYAMA et al., 2023).

Realizando uma comparação do método convencional (fundoscopia ou retinografia interpretada por oftalmologista), a inteligência artificial oferece:

- maior velocidade, analisando milhares de imagens em minutos;
- maior padronização, reduzindo variabilidade entre os observadores;
- capacidade de triagem populacional, mesmo em locais sem especialista.

Por outro lado, a avaliação humana ainda é necessária para:

- imagens de baixa qualidade ou não graduáveis;
- casos atípicos;
- detecção de outras patologias retinianas não incluídas no escopo do algoritmo.

Assim, a literatura converge em considerar a IA como ferramenta complementar, atuando como um sistema de triagem inicial, e não substituto integral do exame oftalmológico pelo especialista (STRAŇÁK et al., 2021; FERREIRA et al., 2025).

Tabela 2 – Desempenho diagnóstico da IA no rastreamento da RD

<b>Autor (ano)</b>	<b>Tipo de estudo</b>	<b>Exame</b>	<b>Sensibilidade (%)</b>	<b>Especificidade (%)</b>
<b>Gulshan et al. (2016)</b>	Estudo original	Retinografia	97,5	93,4
<b>Abramoff et al. (2018)</b>	Estudo prospectivo	Retinografia	87,4	89,5
<b>Peris-Martínez et al. (2021)</b>	Estudo original	Retinografia	100	82,0
<b>Peris-Martínez et al. (2021)</b>	Estudo original	Retinografia	100	94,64
<b>Kuiava et al. (2021)</b>	Estudo original	Retinografia	91,28	98,58
<b>Faria et al. (2023)</b>	Estudo transversal	Retinografia portátil	90,91	85,42
<b>Silva et al. (2023)</b>	Estudo observacional	Retinografia	94,5	91,3
<b>Wang et al. (2023)</b>	Revisão sistemática com meta-análise	Retinografia	88,0	91,2
<b>Wolf et al. (2024)</b>	Ensaio clínico randomizado	Retinografia	100	78,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

#### 4.2.4 Limitações e desafios para aplicação na prática oftalmológica

Apesar dos resultados promissores, os textos analisados reforçam que a implementação da inteligência artificial na rotina ainda apresenta limitações técnicas, operacionais, éticas e regulatórias. Especificadas a seguir:

- **Dependência da qualidade e padronização das imagens**

A maioria dos algoritmos foi treinada com imagens obtidas em condições ideais, com câmeras padronizadas e boa midríase. Na prática, variações de modelo de câmera, iluminação, foco e opacidades de meios (por exemplo, catarata) podem comprometer o desempenho, aumentando a quantidade de imagens não graduáveis e reduzindo sensibilidade (CARVALHO et al., 2022; NAKAYAMA et al., 2023).

- **Generalização limitada e vieses de dados**

Vários estudos foram desenvolvidos com bases de dados restritas a populações específicas, principalmente da América do Norte, Europa e Ásia, o que levanta dúvidas sobre o desempenho em outras populações, como a brasileira. A falta de diversidade étnica e

socioeconômica pode gerar viés algorítmico, com maior risco de erros justamente em grupos vulneráveis. Isso levanta preocupações sobre a possibilidade de a IA amplificar desigualdades em saúde existentes (CHECON et al., 2025; CREW et al., 2025; NAKAYAMA et al., 2023).

- **Capacidade diagnóstica restrita**

A maior parte dos algoritmos foi treinada exclusivamente para retinopatia diabética. Dessa forma, outras doenças retinianas podem passar despercebidas, o que obriga a manutenção da avaliação clínica e reforça o caráter complementar da inteligência artificial (CARVALHO et al., 2022; GRZYBOWSKI et al., 2020).

- **Interpretabilidade**

Modelos de DL, em especial as CNNs, são pouco explicáveis e compreensíveis para o usuário final. A dificuldade em compreender como o algoritmo chegou a determinado diagnóstico prejudica a confiança do médico, do paciente e de órgãos reguladores. Estudos específicos discutem técnicas de interpretabilidade (como Grad-CAM e mapas de relevância), mas ainda apontam falta de validação objetiva e discrepâncias entre as regiões destacadas e as lesões reais (LIM; CHEN; AHMED, 2022).

- **Questões éticas, legais e de privacidade**

Há preocupações quanto a:

- Proteção de dados,
- Propriedade e uso secundário das imagens (especialmente em bancos internacionais e empresas privadas),
- Transparência para o paciente e necessidade de consentimento informado adequado.
- Definição de responsabilidade em caso de erro diagnóstico,

Atualmente, a IA é considerada uma ferramenta de apoio a decisão clínica, e a responsabilidade final permanece com o médico. No entanto, o uso de sistemas autônomos (sem supervisão humana imediata) cria zonas de incerteza jurídica que ainda carecem de regulamentação específica.

Revisões recentes destacam que essas questões ainda não estão plenamente resolvidas e requerem políticas públicas e regulamentação específicas, incluindo diretrizes nacionais e atuação de agências como ANVISA (RAMAN et al., 2021; CREW et al., 2025; BUSTAMANTE, 2023).

No Brasil, dispositivos médicos baseados em IA devem ser registrados na ANVISA, que publicou orientações específicas para software como dispositivo médico com funcionalidades de IA. Conforme essas orientações, esses sistemas devem possuir registro junto à ANVISA,

com comprovação de sua segurança e validação clínica, sendo autorizados como instrumentos de apoio ao rastreamento de casos suspeitos, sem substituir a avaliação médica. Dessa forma, os resultados obtidos por meio do uso da IA devem ser interpretados como indicativos de necessidade de encaminhamento para avaliação oftalmológica especializada (BRASIL, 2022).

- **Infraestrutura, custos e integração ao fluxo de trabalho**

Apesar do potencial de redução de custos a longo prazo, a implementação inicial exige investimentos em equipamentos, conectividade, armazenamento em nuvem e treinamento de equipes. Muitos serviços, em especial no SUS, ainda não dispõem de infraestrutura de TI e recursos humanos suficientes para operar e realizar manutenção dos sistemas de IA. Além disso, a integração dos resultados ao fluxo de trabalho clínico, com encaminhamento ágil, registro em prontuário e retorno ao paciente é apontada como um desafio primordial para que os ganhos teóricos se concretizem na prática (TING et al., 2023; NAKAYAMA et al., 2023; SILVA et al., 2025).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da IA, principalmente por meio de algoritmos de DL e CNNs, desempenha papel promissor no rastreamento e diagnóstico da retinopatia diabética, com aplicações que vão desde a triagem na atenção primária e telemedicina até o suporte à decisão clínica em centros especializados. Os estudos apontam elevada sensibilidade e especificidade, muitas vezes comparáveis ou superiores às obtidas em métodos convencionais, com benefícios adicionais em termos de rapidez, padronização, potencial para operar em larga escala e custo-efetividade.

Entretanto, a ampla adoção desses sistemas ainda é limitada por diversos problemas como: generalização, qualidade de imagem, capacidade diagnóstica restrita, interpretabilidade, ética, regulação e infraestrutura.

A interpretação dos resultados deve considerar, ainda, as limitações metodológicas do presente estudo, devido à sua natureza de revisão narrativa, com potencial viés de seleção, diversidade metodológica entre os estudos analisados, incluindo diferenças entre os algoritmos utilizados, bases de dados, dispositivos de captura de imagem e desfechos avaliados, além de restrições temporais e linguísticas, limitação das bases de dados consultadas e possível viés de publicação.

Conclui-se que a IA deve ser compreendida como ferramenta complementar ao trabalho do oftalmologista, e não como substituta do exame clínico especializado. A superação desses obstáculos, por meio de estudos prospectivos, multicêntricos e com validação externa,

validação em populações brasileiras, adequação regulatória (incluindo registro na ANVISA), capacitação de profissionais de saúde e integração aos fluxos assistenciais existentes, é fundamental para que a IA atinja seu objetivo no rastreamento, diagnóstico e conseqüentemente na prevenção da cegueira evitável associada ao diabetes.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALVES, Daniela Osorio. *Desempenho de retinografia portátil com inteligência artificial no rastreamento de retinopatia diabética na Atenção Primária em Saúde*. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Pesquisa Clínica) – Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, 2024.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 657, de 24 de março de 2022. Dispõe sobre a classificação de dispositivos médicos. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2022.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). *Orientação sobre Software como Dispositivo Médico (SaMD)*. Brasília: ANVISA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa>. Acesso em: 02/02/2026.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Diretrizes para a Atenção ao Diabetes Mellitus na Rede de Atenção à Saúde*. Brasília: Ministério da Saúde, 2022.
- BUSTAMANTE, Maria Célia Menezes; CADELCA, Gabriela Bechara Rossi; LEAL, Pedro Henrique Moreira. Avanços na detecção precoce de retinopatia diabética usando inteligência artificial. *Archives of Health*, Curitiba, v. 6, n. 4 (edição especial), p. 1–5, 2025.
- CARVALHO, Bernardo Fontoura Castro et al. O uso da inteligência artificial para diagnóstico da retinopatia diabética: uma revisão narrativa. *Revista Médica de Minas Gerais*, v. 32, supl. 1, p. S42–S45, 2022.
- CHECON, Maria Eduarda Smarzaro et al. Inteligência artificial na oftalmologia: diagnóstico preciso, acesso ampliado e novos desafios. *Journal of Medical and Biosciences Research*, v. 2, n. 4, p. 771–779, 2025.
- COSTA, Pietra Granzotto et al. Aplicação de inteligência artificial em diagnóstico médico. *Brazilian Journal of Health Review*, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 1–9, maio/jun. 2024.
- CREW, Alexandra; REIDY, Claire; VAN DER WESTHUIZEN, Helene-Mari; GRAHAM, Mackenzie. A narrative review of ethical issues in the use of artificial intelligence enabled diagnostics for diabetic retinopathy. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, v. 31, e14237, 2025.
- DANTAS, Breno Manguieira et al. Avanços no uso de inteligência artificial para diagnóstico e prognóstico em doenças oculares. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, v. 6, n. 11, p. 697–705, 2024.
- FARIA, Thiago Pereira. *Retinógrafo portátil no rastreamento de retinopatia diabética: telemedicina e inteligência artificial*. 2023. 74 f. Dissertação (Mestrado em Medicina) – UNESP, Botucatu, 2023.
- FANTOZZI, Camila Brandão. *Propostas de algoritmos de inteligência artificial para screening de edema macular diabético*. 2024. 67 f. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde) – FAMERP, São José do Rio Preto, 2024.
- FERREIRA, Clécio Fernandes et al. Impacto da validação cruzada de algoritmos de IA em estudos prospectivos para retinopatia diabética. *Brazilian Journal of Health Review*, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 01–16, 2025.
- FREIRE, Silvia Pereira et al. O uso da inteligência artificial no monitoramento e no diagnóstico da retinopatia diabética. *Resic – Revista dos Seminários de Iniciação Científica*, v. 4, n. 1, p. 146–147, 2022.

- GRZYBOWSKI, Andrzej et al. Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: a review. *Eye*, v. 34, p. 451–460, 2020.
- KONG, Mingui; SONG, Su Jeong. Artificial intelligence applications in diabetic retinopathy: what we have now and what to expect in the future. *Endocrinology and Metabolism*, v. 39, n. 3, p. 416–424, 2024.
- KUIAVA, Victor Antonio et al. Desenvolvimento de sistema estruturado com inteligência artificial para apoio no diagnóstico de patologias oftalmológicas. *Clinical & Biomedical Research*, Porto Alegre, v. 41, n. 1, p. 27–32, 2021.
- LIM, Wei Xiang; CHEN, ZhiYuan; AHMED, Amr. The adoption of deep learning interpretability techniques on diabetic retinopathy analysis: a review. *Medical & Biological Engineering & Computing*, v. 60, p. 633–642, 2022.
- MENEZES, Carolina Magalhães Hueb de. Uso da inteligência artificial no rastreamento e diagnóstico da retinopatia diabética: revisão de evidências recentes. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 11, n. 9, p. 1241–1247, 2025.
- MIGUEL, Lara Silva; BIZINOTTO, Gabriel Bahia Arantes; LOPES, Nicolle Campos Viandelli. Inteligência artificial e oftalmologia: situação atual. *Archives of Health*, Curitiba, v. 6, n. 4 (ed. esp.), p. 01–05, 2025.
- MORATO, Maria Paula Sabbion et al. Diagnóstico da retinopatia diabética por inteligência artificial por meio de smartphone. *Archives of Health*, Curitiba, v. 6, n. 4 (ed. esp.), p. 01–05, 2025.
- NAKAYAMA, Luis Filipe et al. Artificial intelligence for telemedicine diabetic retinopathy screening: a review. *Annals of Medicine*, v. 55, n. 2, p. 2258149, 2023.
- OLIVEIRA, Luiz Eduardo Silva de et al. Diagnóstico da retinopatia diabética por inteligência artificial por meio de smartphone. *Revista Brasileira de Oftalmologia*, v. 83, p. e0006, 2024.
- PESSOA, Daniel Domingues et al. Artificial intelligence techniques for diagnosis and treatment in health. *Conjecturas*, v. 22, n. 12, p. 1324–1341, 2022.
- RAMAN, Rajiv et al. Using artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: policy implications. *Indian Journal of Ophthalmology*, v. 69, n. 11, p. 2993–2998, 2021.
- RAJESH, Anand E. et al. Artificial Intelligence and Diabetic Retinopathy: AI Framework, Prospective Studies, Head-to-head Validation, and Cost-effectiveness. *Diabetes Care*, v. 46, n. 10, p. 1728–1739, 2023.
- SCARPITTA, Amanda Alcatrão et al. Uso de técnicas de inteligência artificial para análise de retinografias e reconhecimento de processos patológicos. In: *ERCAS 2021 – Escola Regional de Computação Aplicada à Saúde*. Anais... Porto Alegre: SBC, 2021. p. 1–16.
- SILVA, Jhenyfer Coutinho da et al. Aplicação da inteligência artificial no diagnóstico e prevenção da retinopatia diabética: desafios e perspectivas futuras. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, v. 25, p. e18995, 2025.
- SOUZA, Geovanne Kieling de; ALTIERE, Andressa Maria; ANDRIOTTI, Patricia do Rocio. Inteligência artificial aplicada ao diagnóstico e acompanhamento da retinopatia diabética. *International Journal of Innovative Technologies in Social Science*, n. 4(36), p. 38–47, 2022.
- TRAN, Jenny et al. Barriers and enablers influencing the implementation of artificial intelligence for diabetic retinopathy screening in clinical practice: a scoping review. *Clinical & Experimental Ophthalmology*, v. 53, p. 791–802, 2025.

VELOSO, Bruno et al. Explainable artificial intelligence for diabetic retinopathy: a systematic review. *Artificial Intelligence in Medicine*, v. 127, p. 102532, 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Global report on diabetes*. Geneva: WHO, 2016.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *World report on vision*. Geneva: WHO, 2019.