

# Tecnologia Assistiva para Diagnóstico Ocular Remoto: Desenvolvimento de uma Lâmpada de Fenda Portátil

Kassandra Maria de Sousa Rabêlo<sup>1</sup>, Isac Brito Matos<sup>1</sup>, Priscila Freitas Martins<sup>1</sup>,  
Maria Laís Félix da Silva<sup>1</sup>, Marcony Santana Maximo<sup>1</sup>, Silvino Marques da Silva  
Junior<sup>1</sup>, Tadeu Anderson Nascimento Saraiva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal do Piauí (IFPI)  
CEP 64800-000 – Floriano – PI – Brasil

{caflo.2024114tads0011,caflo.2024114tads0019,caflo.2024114tads0036}@alun  
o.ifpi.edu.br, {lais.felix,marconymaximo,silvinomarques,tadeu.anderson}@i  
fpi.edu.br

**Abstract.** *Current methods for diagnosing cataract and glaucoma require the physical presence of an ophthalmologist. This project develops a portable slit lamp capable of capturing eye images with quality comparable to conventional equipment, enabling remote diagnosis through an online tele-diagnosis platform. The proposal aims to reduce patient travel and expand access to ophthalmic examinations, requiring only a trained healthcare professional to capture the images. The prototype, under development with technical support from the EmbarcaTech program and in partnership with the Hospital de Olhos de Floriano, involves the design and 3D printing required to integrate optical and electronic components into a portable, accessible, and reliable device.*

**Resumo:** *Os métodos atuais de diagnóstico de catarata e glaucoma exigem a presença física do médico oftalmologista. Este projeto desenvolve uma lâmpada de fenda portátil capaz de capturar imagens do olho com qualidade próxima à de equipamentos convencionais, permitindo diagnóstico remoto por meio de uma plataforma online de telediagnóstico. A proposta busca reduzir deslocamentos e ampliar o acesso a exames oftalmológicos, exigindo apenas um profissional treinado para a captura das imagens. O protótipo, em construção com suporte técnico do programa EmbarcaTech e parceria do Hospital de Olhos de Floriano, envolve o design e a impressão 3D para integrar os componentes ópticos e eletrônicos em um dispositivo portátil, acessível e confiável.*

## 1. Introdução

A catarata é uma doença que compromete de forma significativa a qualidade de vida dos indivíduos afetados, a elevada incidência de casos torna a catarata a segunda causa mais prevalente de cegueira no mundo, sendo responsável por aproximadamente 33% do total dos casos mundiais (Pascolini e Mariotti, 2012). No Brasil, o cenário é agravado por dificuldades no acesso ao diagnóstico e ao tratamento, devido principalmente a problemas financeiros e logísticos. Além disso, os métodos atuais de diagnóstico da catarata ainda dependem da presença do médico oftalmologista (Scherer, 2022).

A urgência de atenção a essa área da saúde é reforçada por dados do Conselho Brasileiro de Oftalmologia, que apontam que cerca de 60% das cegueiras eram evitáveis e que, em 2023, 77,3% das pessoas com deficiência visual possuíam causas tratáveis, como a própria catarata e erros refrativos não corrigidos (Ottiano et al., 2019).

Diante desse cenário e em consonância com a Lei da Telessaúde (nº 14.510/2022), o presente projeto visa desenvolver uma solução de telediagnóstico ocular

remoto. A proposta confere autonomia a profissionais de saúde não especialistas na captação dos exames, mitigando custos operacionais e a ocorrência de diagnósticos tardios, o que amplia o acesso da população ao diagnóstico. A inovação proposta neste trabalho reside na integração entre tecnologias embarcadas e soluções de telediagnóstico.

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver e validar um sistema portátil de captura de imagens oftalmológicas, baseado em uma lâmpada de fenda de baixo custo integrada a uma plataforma de telediagnóstico, visando ampliar o acesso ao diagnóstico remoto em regiões com infraestrutura médica limitada.

## **2. Trabalhos Relacionados**

A Organização Mundial da Saúde (OMS) 2023, estima que cerca de 2,2 bilhões de pessoas no mundo apresentam alguma deficiência visual, sendo que aproximadamente 1 bilhão desses casos poderiam ser prevenidos por meio de detecção precoce e tratamento adequado. Diante desse panorama, há necessidade premente de soluções tecnológicas que ampliem o acesso ao diagnóstico oftalmológico, especialmente em contextos de vulnerabilidade socioeconômica e com infraestrutura limitada.

A teleconsulta, por permitir a interação entre paciente e profissional em locais distintos, reduz barreiras geográficas e econômicas sem suprimir as etapas clínicas essenciais de uma consulta presencial, possibilitando alternância entre modalidades conforme a necessidade clínica (Schmitz et al., 2021). Apesar disso, revisões recentes apontam limitações técnicas relevantes: muitos sistemas móveis apresentam sensibilidade reduzida para detecção de lesões sutis (Cao, Vu e Keenan, 2023). Em configurações com dispositivos acoplados a celulares, a instabilidade do foco causada pela movimentação manual compromete a qualidade das imagens (Kaushik et al., 2024). Outros entraves incluem autonomia energética limitada em campo e custo dos componentes.

Tecnologias recentes demonstram a viabilidade de dispositivos portáteis e de baixo custo capazes de captar imagens oftalmológicas com qualidade suficiente para análise remota, como retinógrafos adaptados a smartphones (Marques, 2019). No entanto, os dispositivos comercialmente disponíveis ainda não incorporaram plenamente os requisitos da telemedicina: faltam integração com plataformas digitais, otimização de trabalho para uso por profissionais de saúde e mecanismos robustos para a captura de imagens diagnósticas da câmara anterior do olho.

Diante do exposto, o desenvolvimento de um biomicroscópio ocular compacto e integrado a uma plataforma visa ampliar a acessibilidade ao exame, facilitar a emissão de laudos por oftalmologistas à distância, por meio do manuseio por profissionais da saúde e contribuir para políticas públicas de equidade em saúde. Visto que, nenhuma das soluções identificadas combina módulo óptico estabilizado baseado no princípio de Köhler, processamento embarcado de baixo custo e integração nativa com plataforma de telediagnóstico, lacuna que este trabalho endereça diretamente.

## **3. Procedimentos Metodológicos**

O estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada de desenvolvimento tecnológico, com abordagem mista (qualitativa e quantitativa), incluindo etapas de prototipagem,

testes experimentais e validação em ambiente controlado. A natureza aplicada da pesquisa visa solucionar um problema prático: a necessidade de um dispositivo de diagnóstico oftalmológico portátil e acessível, gerando um produto com impacto social direto. O desenvolvimento está estruturado em cinco etapas interdependentes, descritas a seguir.

### **3.1. Levantamento e Análise de Requisitos (Fase Exploratória)**

Realizou-se revisão sistemática de literatura para identificar requisitos técnicos (tecnologias de imagem, iluminação, microcontroladores, óptica e conectividade), requisitos clínicos (nitidez, contraste, campo visual adequado ao diagnóstico remoto e ergonomia para operadores não especialistas) e análise crítica de produtos comerciais existentes. Paralelamente, foram conduzidas entrevistas semiestruturadas com oftalmologistas parceiros e grupos focais com técnicos de enfermagem e agentes comunitários de saúde, operadores-alvo do dispositivo, mapeando fluxos reais de trabalho, barreiras ergonômicas e requisitos de usabilidade.

### **3.2. Projeto e Prototipagem (Fase Descritiva e de Desenvolvimento)**

Com base nos requisitos levantados, esta fase compreende: (i) concepção da arquitetura do sistema e seleção de componentes, ESP32-S3 com sensor OV5640 (5MP), LEDs de alta intensidade, lentes cilíndricas plano-convexas e módulos de conectividade Wi-Fi; (ii) modelagem 3D e fabricação da estrutura física por impressão 3D com materiais leves, modulares e resistentes; e (iii) desenvolvimento integrado de hardware e firmware, incluindo controle de LEDs, captura e processamento inicial de imagens, e transmissão segura para plataforma de telediagnóstico. Toda a evolução do design, do protótipo conceitual Zoiudo V1 ao atual Zoiudo V3, foi documentada em esquemáticos, lista de materiais, código-fonte embarcado e manual de uso.

### **3.3. Testes de Bancada e Otimização (Fase Experimental)**

Após a prototipagem, o dispositivo é submetido a ciclos de testes rigorosos organizados em cinco frentes: **(i) componentes**, com verificação individual de LEDs, lentes, câmera e microcontrolador; **(ii) integração**, avaliando a interação entre os módulos; **(iii) desempenho óptico**, medindo distância focal, nitidez, controle de luz e resolução com padrões de calibração; **(iv) ergonomia e usabilidade**, com avaliação de manuseio por usuários simulados; e **(v) conectividade**, verificando velocidade e integridade na transmissão de imagens para a plataforma de telediagnóstico.

Além dos testes funcionais, o protótipo será submetido a um ciclo de testes de robustez e confiabilidade, essenciais para um dispositivo portátil. Estes testes incluirão: **1) Teste de Autonomia:** Medição do tempo de uso contínuo e número de exames por ciclo de bateria; **2) Teste de Estresse de Iluminação:** Avaliação da estabilidade da luz e aquecimento do dispositivo após uso prolongado; e **3) Teste de Durabilidade:** Verificação da resistência da estrutura fabricada por impressão 3D a impactos leves e ao desgaste operacional.

Os resultados desses testes estão documentados em relatórios técnicos, e as informações obtidas são utilizadas para melhorias e otimização do design e da funcionalidade do protótipo.

### **3.4. Validação Clínica e Avaliação da Percepção do Usuário (Fase Aplicada e de Validação)**

Esta etapa, conduzida inicialmente em ambiente simulado e posteriormente em ambiente clínico controlado, envolve a utilização do dispositivo por profissionais de saúde capacitados (técnicos de enfermagem e oftalmologistas parceiros do Hospital de Olhos de Florianópolis). As imagens capturadas são avaliadas por médicos especialistas quanto à utilidade diagnóstica para catarata e glaucoma, tomando como referência os padrões clínicos e as regulamentações aplicáveis à telemedicina e a dispositivos médicos. Complementarmente, são aplicados questionários estruturados online, abordando usabilidade, qualidade de imagem, integração ao fluxo de trabalho e potencial para o telediagnóstico.

### 3.5. Análise de Dados

Os dados coletados são analisados de forma complementar: **(i) qualitativamente**, por análise temática das entrevistas semiestruturadas, identificando padrões de usabilidade, aceitação e impacto social; e **(ii) quantitativamente**, por estatísticas descritivas (médias, desvios padrão, frequências) aplicadas aos resultados de bancada e aos questionários, além de análise de custo-efetividade a partir da lista de materiais, comparando o custo unitário de produção com o de lâmpadas de fenda portáteis disponíveis no mercado, validando objetivamente a proposta de baixo custo.

### 3.6. Considerações Éticas

Todas as etapas da pesquisa são conduzidas respeitando rigorosos padrões éticos, em conformidade com as diretrizes de pesquisa envolvendo seres humanos. Um projeto de pesquisa detalhado será submetido e aprovado por um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). Os participantes (profissionais de saúde e, se aplicável, pacientes) serão devidamente informados sobre os objetivos do estudo, os procedimentos de coleta de dados, os riscos e benefícios, e as garantias de confidencialidade e anonimato. A participação será voluntária, formalizada por meio de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

## 4. Resultados Preliminares e Esperados

Para a elaboração do biomicroscópio portátil, a solução elegeu o ESP32-S3 e o sensor OV5640 (5MP) como componentes centrais, garantindo alta resolução e baixo custo. Essa decisão superou as limitações de memória encontradas em testes anteriores com Raspberry Pi Pico W e a ESPCAM. A evolução do hardware passou pelo protótipo conceitual 'Zoiudo V1', o 'Zoiudo V2', até chegar ao design 3D atual, o 'Zoiudo V3' (Figura 1).



**Figura 1.** Esta figura ilustra a evolução do protótipo entre 'Zoiudo V1', 'V2' e 'V3'.

Como principal resultado preliminar, o projeto obteve êxito no refinamento do módulo óptico. Fundamentado no princípio de Köhler e no emprego de lentes cilíndricas plano-convexas, o sistema garantiu a estabilidade e a homogeneidade necessárias para a

fenda de luz. A eficácia dessa arquitetura óptica já foi validada em testes práticos iniciais, que resultaram na projeção bem-sucedida do feixe luminoso (entre 0,3 e 0,8mm) sobre as estruturas oculares (Figura 2). Guiado por práticas ágeis, esse avanço consolida a robustez técnica da iluminação do equipamento.



**Figura 2. Esta figura ilustra a projeção bem-sucedida em testes do feixe luminoso.**

Espera-se como resultado final a entrega do protótipo funcional da lâmpada de fenda portátil (Zoiudo V3). O dispositivo integrará captura de imagem em alta resolução, sendo estável, ergonômico e de fácil operação por técnicos de enfermagem para viabilizar atendimentos em regiões carentes. Sua validação será atestada por médicos parceiros, que avaliarão imagens geradas em testes práticos para garantir qualidade diagnóstica comparável aos equipamentos de hospitais.

Além de disponibilizar a documentação técnica completa para a replicação do hardware e software, a plataforma consolida uma base escalável. Como perspectiva futura, o objetivo é integrar inteligência artificial embarcada para a análise automática das imagens, otimizando a triagem oftalmológica e permitindo a expansão para novos módulos diagnósticos.

## **5. Conclusões Preliminares e Discussão**

Este artigo apresentou o plano metodológico para o desenvolvimento de um biomicroscópio ocular portátil e acessível, motivado pela alta prevalência de cegueira evitável e por demandas reais, como a do Hospital de Olhos de Florianópolis. A solução proposta visa promover o telediagnóstico, democratizar a saúde visual em regiões com infraestrutura limitada por meio de um dispositivo de baixo custo capaz de gerar imagens de alta resolução.

A discussão em torno de sua aplicação em campo, contudo, revela desafios operacionais inerentes a hardwares portáteis. A eficácia diagnóstica do equipamento está atrelada à capacitação do operador, visto que a instabilidade no manuseio pode comprometer a padronização dos exames. Somado a isso, as dificuldades de conectividade em áreas remotas impactam o envio imediato de imagens, evidenciando a necessidade de adaptar a solução para funcionamento *off-line* que garantam a continuidade do acompanhamento especializado.

Apesar dessas limitações, conclui-se que o projeto transcende a entrega de um protótipo isolado, estabelecendo uma plataforma tecnológica escalável e amplamente documentada. A perspectiva de incorporar inteligência artificial e novos módulos

diagnósticos no futuro atesta a capacidade de evolução do sistema. Essa trajetória evidencia o potencial transformador da tecnologia em prol de um cuidado oftalmológico mais acessível para todos.

## 6. Referências

- Brasil. Lei nº 14.510, de 27 de dezembro de 2022. Altera a Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990 (Lei Orgânica da Saúde), para disciplinar a prática da telessaúde em todo o território nacional. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 dez. 2022. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/lei/L14510.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14510.htm). Acesso em: 29 abr. 2025.
- Brasil. Ministério da Saúde. OMS alerta que 285 milhões de pessoas no mundo têm a visão prejudicada. Publicado em: 13 fev. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2023/fevereiro/oms-alerta-que-285-milhoes-de-pessoas-no-mundo-tem-a-visao-prejudicada>. Acesso em: 30 abr. 2025.
- Cao, B.; Vu, C. H. V.; Keenan, J. D. Telemedicine For Cornea And External Disease: A Scoping Review Of Imaging Devices. *Ophthalmology And Therapy*, V. 12, N. 5, P. 2281–2293, Out. 2023. Doi: 10.1007/s40123-023-00764-3.
- Kaushik, N. Et Al. Mobile Infrared Slit-Light Scanner For Rapid Eye Disease Screening. *Journal Of Medical Imaging (Bellingham, Wash.)*, V. 11, N. 2, P. 026003, Mar. 2024. Doi: 10.1117/1.JMI.11.2.026003.
- Marques, G. Inovação: Aparelho Portátil Faz Exames De Vista Pelo Celular. 1 Maio 2019. Disponível em: <https://phelcom.com/pt-br/blog/inovacao/aparelho-portatil-faz-exames-de-vista-pelo-celular/>. Acesso Em: 30 Abr. 2025.
- Ottiano, J. A. A. Et Al. As Condições De Saúde Ocular No Brasil 2019. [S.L.] CBO, 2019. Disponível em: [https://www.cbo.com.br/novo/publicacoes/condicoes\\_saude\\_ocular\\_brasil2019.pdf](https://www.cbo.com.br/novo/publicacoes/condicoes_saude_ocular_brasil2019.pdf). Acesso Em: 15 Mar. 2025.
- Pascolini, Donatella; Mariotti, Silvio Paolo. Global Estimates Of Visual Impairment: 2010. *British Journal Of Ophthalmology*, V. 96, N. 5, P. 614-618, 2012. Doi: 10.1136/Bjophthalmol-2011-300539. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1410993>. Acesso Em: 30 Abr. 2025.
- Scherer, Rafael. Avaliação Da Eficácia De Um Dispositivo Portátil De Baixo Custo Para Triagem De Catarata Clinicamente Significante. 2022. Tese (Doutorado) – Universidade De São Paulo, São Paulo, 2022. Disponível Em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5149/tde-22092022-161730/>. Acesso Em: 30 Abr. 2025.
- Schmitz, C. A. A. Et Al. (Org.). Consulta Remota: Fundamentos E Prática. Porto Alegre: Artmed, 2021. 102 P.