

IRIS: APLICATIVO PARA IDENTIFICAÇÃO DE LEUCOCORIA

Rafael Sabel de Almeida, Aurélio Faustino Hoppe – Orientador

Curso de Bacharel em Ciência da Computação
Departamento de Sistemas e Computação
Universidade Regional de Blumenau (FURB) – Blumenau, SC – Brazil

rafael.sabel@hotmail.com, aureliof@furb.br

Resumo: A leucocoria é a presença da pupila branca e deve ser investigada e diagnosticada o mais precocemente possível a fim de salvar a visão e até mesmo a vida da pessoa. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um aplicativo para a plataforma Android que realiza o processamento de imagens para verificar a presença de leucocoria. O aplicativo faz o uso dos algoritmos Viola-Jones, Haar Cascade e a Transformada de Hough para realizar a análise das imagens. Os resultados foram positivos, porém, com pontos a serem melhorados, principalmente no que diz respeito a olhos claros.

Palavras-chave: Leucocoria. Viola-Jones. Haar Cascade. Transformada de Hough. Aplicativo.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a estimativa divulgada pela Sociedade Brasileira de Oftalmologia Pediátrica, a cada minuto uma criança fica cega no mundo. Existem no Brasil aproximadamente 25 mil crianças cegas. Segundo os especialistas, em torno de 80% dos casos de cegueira poderiam ser evitados através de teste simples como o teste do olhinho (BRASIL, 2011).

Ledesma et al. (2018) ressaltam que o Teste do Olhinho ainda é pouco conhecido pelos pais. No entanto, tem o poder de detectar muitas doenças visuais precocemente. O exame, segundo os autores, é apontado por profissionais da saúde visual, como uma técnica simples e rápida que possibilita o diagnóstico precoce de catarata, glaucoma congênito, tumores intraoculares grandes, inflamações intraoculares ou hemorragias intravítreas em recém-nascidos.

Para Leitão et al. (2017) o teste do olhinho deve ser realizado nas primeiras 48 horas de vida da criança. Ele não é invasivo, agressivo ou doloroso, podendo ser feito em menos de cinco minutos por qualquer profissional habilitado. A realização do teste é feita com um oftalmoscópio direto que emite um foco de luz sobre o olho do bebê, gerando a percepção de um reflexo vermelho. Para Aguiar, Cardoso e Lúcio (2007), o teste do olhinho não tem por objetivo visualizar a retina e suas estruturas, mas sim verificar se existe algum obstáculo à chegada da luz até esta retina, assim como, também é recomendando para realizar a triagem e a detecção da leucocoria.

Leucocoria (das palavras gregas leukos = branco e koria = pupila) é uma anormalidade intraocular (MONTANDON JÚNIOR et al., 2004). Ela é um reflexo pupilar anormal, pois a luz incidente na pupila é refletida antes de alcançar a retina. Quando a luz entra no olho através da pupila, a maior parte da luz é absorvida pela retina. No entanto, através da pupila uma pequena quantidade é refletida. Essa luz possui a cor vermelho-alaranjado – cor normal da retina. Em casos de leucocoria o reflexo é esbranquiçado ao invés de vermelho (AMERICAN ASSOCIATION FOR PEDIATRIC OPHTHALMOLOGY AND STRABISMUS, 2016).

Para detectar a leucocoria, o oftalmologista pode utilizar uma lanterna ou o oftalmoscópio, que também permite visualizar diretamente o interior do olho. O ultrassom ocular e a tomografia computadorizada também podem ser utilizados de acordo com a suspeita. Outra forma de identifica-la é através de uma fotografia, pois a pupila do paciente com leucocoria fica branca diante do flash da câmera ao invés de ficar vermelha (MINHA VIDA, 2015).

Campos e Leite (2016) sugerem que se aparecer no exame alguma alteração no reflexo da pupila, como mancha branca total ou parcial ou qualquer coisa que seja considerado “anormal”, significa que a criança pode ter alguma patologia. Por isso, Cagliari et al. (2016) destacam que é importante observar, desde cedo, o aparecimento de sintomas que sugerem dificuldades oculares, como por exemplo, a movimentação dos olhos nos bebês, se cai ou derruba elementos ao caminhar ou se aproxima demais da televisão ou dos objetos. Os autores também ressaltam que este comportamento se torna relevante não só pela temática da promoção da saúde ocular, mas também, para a saúde global da criança pois a visão tem função importantíssima para o seu desenvolvimento físico e cognitivo.

Diante deste cenário, este artigo apresenta o desenvolvimento de um aplicativo para a plataforma Android que ajude na detecção precoce da leucocoria.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a segunda seção trata da fundamentação teórica do trabalho, explicando os principais conceitos e técnicas utilizadas no desenvolvimento do aplicativo e os trabalhos correlatos. Na terceira seção é descrito a especificação e o detalhamento da implementação do protótipo e na quarta seção apresenta os resultados dos testes obtidos na validação do mesmo. As conclusões e limitações levantadas a partir do trabalho, assim como sugestões para trabalhos futuros são demonstradas no quinto e último capítulo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo está organizado em quatro seções. A seção 2.1 descreve o teste do olhinho, a leucocoria, bem como as causas e as formas de diagnóstico. Na seção 2.2 é descrito o método Haar Cascade para identificação de padrões. A seção 2.3 apresenta a transformada de Hough, método para identificação de objetos circulares. Por fim, na seção 2.4 são apresentados os trabalhos correlatos.

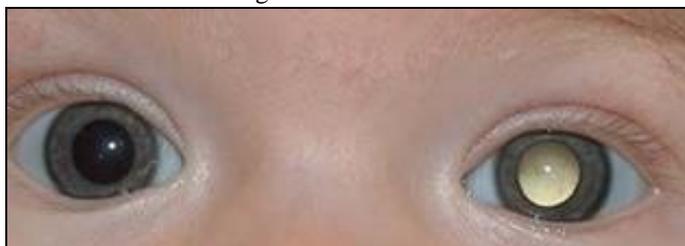
2.1 TESTE DO OLHINHO

Segundo as Diretrizes de Atenção à Saúde Ocular na Infância de 2013 do Ministério da Saúde, com o apoio da Sociedade Brasileira de Oftalmologia Pediátrica, a recomendação é que o teste de Bruckner mais conhecido como teste do olhinho ou teste do reflexo vermelho seja repetido de 2 a 3 vezes por ano, nos primeiros 3 anos de vida do paciente. Do terceiro ao décimo ano de vida, deve ser feito 1x/ano. O programa de Atenção Integral à Saúde da Mulher e da Criança - Rede Cegonha, do Ministério da Saúde de 2014, preconiza a repetição do teste do olhinho aos 4, 6, 12 e 25 meses de vida. A Associação Americana de Pediatria preconiza avaliação do teste do olhinho nas consultas pediátricas de rotina com 1, 2, 4, 6, 9 meses e com um, dois, três, quatro, cinco, seis, oito, 10 e 12 anos de idade (BRASIL, 2011).

Conforme Leitão et al. (2017) o teste do olhinho deve ser realizado nas primeiras 48 horas de vida da criança. Para Tamura e Teixeira (2009), este teste deve ser realizado preferencialmente em uma sala escurecida, pois sob claridade a miose pupilar dificultará a interpretação do exame. O examinador deverá se posicionar a uma distância de aproximadamente 50cm da criança e, com o uso de um oftalmoscópio direto, deve examinar ambas as pupilas, separadamente e simultaneamente, comparando o reflexo entre elas. O reflexo ocular deve ser visível e simétrico quanto à coloração e à intensidade em ambos os olhos.

De acordo com Cagliari et al. (2016), é importante ressaltar que o resultado de apenas um teste do reflexo vermelho alterado, por si só, já justifica a realização do exame de triagem ainda na maternidade em todos os pacientes recém-nascidos, assim como também a realização do teste do reflexo vermelho durante as consultas de puericultura. Segundo Tamura e Teixeira (2009), o teste do olhinho é o teste de triagem indicado para detectar a leucocoria. Ela é caracterizada por um reflexo pupilar esbranquiçado que pode ocorrer em um ou nos dois olhos, que difere do reflexo ocular normal avermelhado, sendo um sinal comum para diversas doenças oculares como o retinoblastoma, catarata, as doenças da retina e do vítreo (TAMURA; TEIXEIRA, 2009). A Figura 1 apresenta um exemplo da existência da leucocoria em um dos olhos.

Figura 1 - Leucocoria



Fonte: Tamura e Teixeira (2014).

Tamura e Teixeira (2009) afirmam que o reflexo ocular vermelho é apresentado quando um feixe de luz incide no olho através da pupila e parte da luz é absorvida e outra parte é refletida pela retina. Conforme Rodrigues, Latorre e Camargo (2004), no olho com leucocoria o reflexo avermelhado é interrompido, sendo apresentado um reflexo esbranquiçado.

Segundo Bertoldi, Gonçalves e Carvalho (2012) a leucocoria pode ser identificada através de fotografias com *flash*, pois é possível identificar se existe o reflexo pupilar esbranquiçado em algum dos olhos. Outra forma de identificação é o teste de Brückner que, segundo Kikawa et al. (2001) consiste em comparar o brilho do reflexo vermelho dos olhos utilizando um oftalmoscópio. Bertoldi, Gonçalves e Carvalho (2012) apontam que para o teste ser considerado positivo ou anormal os reflexos em ambos os olhos não devem ser equivalentes na cor, intensidade/clareza e devem existir opacidades ou pontos brancos.

Por meio desses testes é possível realizar o diagnóstico precoce e reduzir a morbidade de várias afecções oculares (TAMURA; TEIXEIRA, 2009). Ao serem identificadas anormalidades nos testes, é necessário encaminhar o paciente para um oftalmologista onde será feita uma avaliação mais aprofundada para identificação da origem do sintoma.

Segundo Manica et al. (2003), a rápida identificação da leucocoria é importante, pois o retinoblastoma, tumor intraocular maligno mais comum na infância, não tem predileção racial ou por sexo, e em média é diagnosticado por volta dos 18 meses de idade. Os autores ainda destacam que no Brasil o risco de mortalidade ainda é alto e o tratamento precoce (radical ou conservador) é de fundamental importância no prognóstico e sobrevida dos pacientes.

2.2 HAAR CASCADE

O algoritmo de detecção de faces utilizado nesse trabalho foi proposto por Paul Viola e Michael Jones em 2001 (VIOLA; JONES, 2001). Trata-se de uma abordagem para detecção de objetos em imagens que se baseia em três conceitos: integral de imagem, treinamento de classificadores usando *boosting* e seu posterior uso em cascata. Embora o algoritmo possa ser treinado para reconhecer qualquer objeto, a motivação principal da abordagem de Viola e Jones foi o reconhecimento facial. O ponto forte deste algoritmo é a rapidez com que é executado. A integral de imagem, também conhecida como tabela de soma de áreas, é um algoritmo proposto por Frank Crow em 1984 (CROW, 1984) que permite avaliar eficientemente a soma dos valores dos pixels (intensidade dos níveis de cinza) de uma área retangular em uma sub-região da imagem. A Figura 2 apresenta a equação que indica como calcular a integral de imagem em uma determinada coordenada.

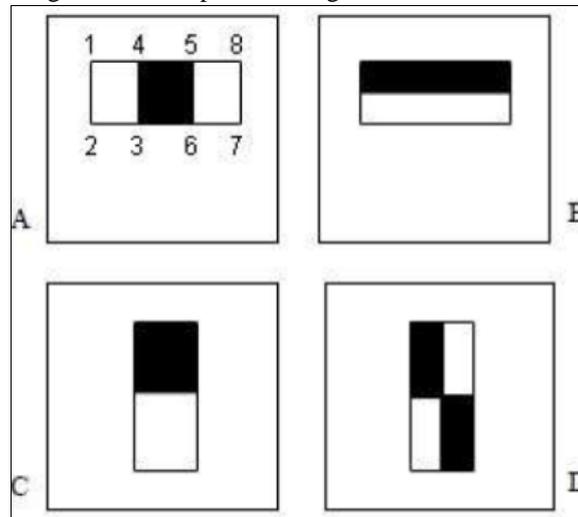
Figura 2 - Cálculo da integral da imagem

$$ii(x, y) = \sum_{\substack{x' \leq x \\ y' \leq y}} i(x', y')$$

Fonte: Braga (2013, p. 24).

Braga (2013, p. 25) explica que a soma pode ser computada em uma única varredura para todos os pixels com a equação $ii(x, y) = i(x, y) + ii(x-1, y) + ii(x, y-1) - ii(x-1, y-1)$, definindo que $ii(x, -1) = 0$ e $ii(-1, y) = 0$ para contornar os pixels que estão fora dos limites da margem. A partir da integral de imagem é possível identificar padrões utilizando características Haar-like, que são máscaras retangulares nas quais os valores dos pixels de uma região são subtraídos dos valores dos pixels de outra região, representando uma diferença de intensidade luminosa entre áreas da imagem (VIOLA; JONES, 2001). A Figura 3 mostra quatro possíveis tipos de características-base que podem ser usadas, e que são calculadas subtraindo-se a soma dos valores dos pixels da região branca, da soma dos valores dos pixels da região preta.

Figura 3 - Exemplo de retângulos de características



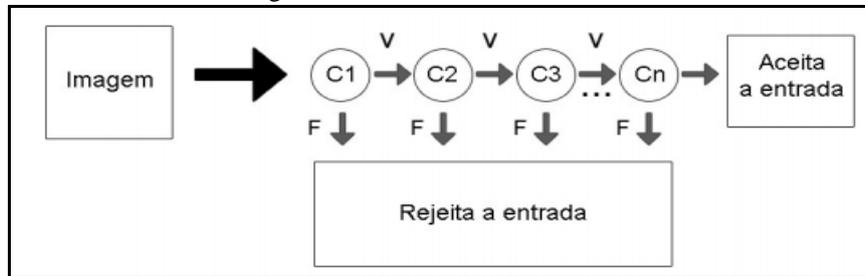
Fonte: Viola e Jones (2001, p. 3).

Cada tipo de característica pode ajudar a reconhecer um determinado padrão, principalmente quando combinados em cascata. Por exemplo, a característica B permite identificar uma área na imagem onde há uma diferença de intensidade significativa entre a parte superior e a parte inferior de uma região. Essa característica pode ser aplicada no processo de detecção de faces, uma vez que frequentemente a região dos olhos é mais escura do que a região das bochechas. Obviamente, existem outros padrões com o mesmo perfil e que não são faces, ao qual é a necessidade de combinar várias características para refinar a busca. A resolução base da máscara usada no algoritmo é de 24x24 pixels. Existem mais de 100.000 possíveis características Haar-like distintas se considerarmos diferentes posições e tamanhos destas dentro da janela.

O segundo passo no algoritmo de Viola-Jones é o treinamento de classificadores. Dado um conjunto de características deve-se treinar o sistema com imagens positivas (faces) e imagens negativas (tudo menos faces). Para isso, deve-se usar um algoritmo de treinamento que aprenda funções de classificação. Uma opção é utilizar um algoritmo de aprendizagem que empregue a estratégia de *Boosting*, que consiste em encontrar um classificador de alta precisão combinando-se muitos classificadores “fracos”, onde cada um desses classificadores fracos possui uma precisão média com uma taxa de acertos de pelo menos 51% (VIOLA; JONES, 2001).

O cascadeamento de classificadores, ilustrado na Figura 4, é a última etapa do processo em que, para se conseguir altas taxas de detecção e, determina-se que a avaliação por um segundo classificador só será invocada caso a avaliação do primeiro seja positiva. Caso contrário, o procedimento é interrompido e a sub-janela que engloba o suposto atributo a detectar é rejeitada. Portanto, é necessário um resultado positivo em todos os classificadores para que a detecção do padrão em uma subjanela tenha êxito.

Figura 4 - Cascata de classificadores



Fonte: Braga (2013, p. 28).

Viola e Jones (2001) afirmam que a principal característica do método que apresentam é o bom desempenho propiciado pelo conjunto de passos do algoritmo, permitindo que ele apresente uma taxa de detecção tão boa quanto outras apresentadas na literatura, porém, com tempo de processamento menor.

2.3 TRANSFORMADA DE HOUGH

Segundo Macedo (2005), a Transformada de Hough foi desenvolvida por Paul Hough no início dos anos 60. É uma técnica para reconhecimento, em imagens digitais, para que sejam facilmente parametrizadas, ou seja, que possuam uma equação com fórmula conhecida. Para Duarte (2003), a Transformada de Hough (TH) é conhecida como uma técnica eficiente para descobrir padrões descontínuos inseridos em imagens ruidosas.

Segundo Trofino (2014), para identificar objetos circulares no espaço de Hough é necessário criar um espaço acumulador, feito por uma célula para cada pixel iniciadas com valor zero. Para cada ponto de borda da imagem (i, j), através do resultado da equação do círculo apresentada no Quadro 1, é incrementado todas as células que podem ser o centro do círculo.

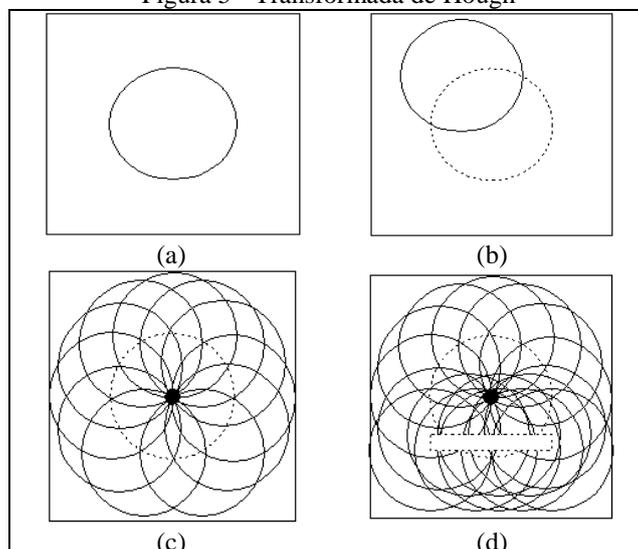
Quadro 1 – Equação do círculo no espaço de Hough

$$R^2 = (i - a)^2 + (j - b)^2$$

Fonte: Duarte (2003).

Essas células são representadas na equação pela letra “a”, após incrementar todas as células, são encontrados todos os possíveis valores de “b” que satisfaçam a equação e por fim, procuram-se as células cujo valor é maior que o valor das células vizinhas. As células encontradas possuem maior probabilidade de pertencerem ao círculo (TROFINO, 2014). A Figura 5 exhibe como é realizada a transformada, onde para cada pixel do círculo é criado outro círculo utilizando como centro o próprio pixel.

Figura 5 - Transformada de Hough



Fonte: Furtado (2016).

Após aplicar a transformada para todos os pixels, verifica-se o pixel com maior frequência. Ele representará o centro do círculo original. No quadro "d" da Figura 5 é possível observar que mesmo com círculos inconsistentes e sobrepostos é possível identificar o centro do círculo (FURTADO, 2016).

Segundo Duarte (2003), o algoritmo para identificação inicia com a leitura da imagem original, convertendo-a para tons de cinza, usando-se logo a seguir, o método de Canny para a obtenção da imagem binária que contém os pixels das bordas da imagem. Duarte (2003), ainda afirma que, deve-se fornecer além da imagem, os parâmetros *raio* (raio dos círculos a serem encontrados na imagem) e *dist* (resolução da matriz de acumulação de votos).

Por fim, Duarte (2003) explica que se determinam as coordenadas *x* e *y* dos centros dos candidatos a círculos, aplicando-se a Transformada de Hough para detecção de Círculos (THC), em uma dada resolução definida pelo parâmetro *dist* definido pelo usuário. Este parâmetro, conforme Duarte (2003), define uma resolução inicial para a determinação da THC, se este valor for muito grande, a precisão na detecção dos círculos diminui, caso contrário, para valores próximos de 1, a precisão é maior, mas em contrapartida, o processamento computacional é mais demorado.

2.4 TRABALHOS CORRELATOS

Abaixo são descritos os trabalhos relacionados ao tema proposto. O Quadro 2 apresenta o Cradle (2014), aplicativo multiplataforma para identificação da leucocoria através de um dispositivo móvel. No Quadro 3, é descrito o MD EyeCare (2013) aplicativo iOS que auxilia o oftalmologista no diagnóstico. Por fim, o Quadro 4 apresenta o trabalho de Abdolvahabi et al. (2013), método para identificar leucocoria a partir de fotografias amadoras.

Quadro 2 – Cradle

Referência	Cradle (2014)
Objetivos	Aplicação multiplataforma (Android/iOS), criada pela Universidade de Baylor para detectar leucocoria através de um dispositivo móvel.
Principais funcionalidades	O usuário pode selecionar uma imagem da galeria ou capturá-la através da câmera do dispositivo. Após selecionar uma imagem, o aplicativo retorna uma mensagem informando ao usuário se foi ou não identificada a síndrome. Ao utilizar a câmera, o aplicativo mostra em tempo real o diagnóstico para o usuário.
Ferramentas de desenvolvimento	Como é um projeto comercial não temos a informação das ferramentas utilizadas.
Resultados e conclusões	Segundo os desenvolvedores os resultados dos testes, em pacientes, atingiram 96% e, que em ambientes não controlados esta porcentagem será menor devido às diversas variações fotográficas como foco, campo de visão e luz.

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 3 - MD EyeCare

Referência	MD EyeCare (2013)
Objetivos	Aplicativo para a plataforma iOS que permite realizar a captura de imagens através de um dispositivo móvel, a fim de auxiliar o oftalmologista na avaliação inicial da leucocoria.
Principais funcionalidades	Permite ao usuário capturar uma fotografia com flash. Para isso, basta que o usuário posicione o dispositivo a 50 centímetros do paciente, ajuste a luminosidade e capture a foto. Depois disso, o aplicativo identifica a região dos olhos, corta a imagem deixando apenas a região encontrada. A partir disso, o usuário pode salvar a imagem na galeria.
Ferramentas de desenvolvimento	Não foi possível identificar as ferramentas utilizadas pois é um projeto comercial.
Resultados e conclusões	A aplicação desenvolvida visa apenas auxiliar na identificação da leucocoria e segundo empresa desenvolvedora mostra efetividade no que se propõe a fazer.

Fonte: elaborado pelo autor.

Quadro 4 - Analysis of Leukocoria in Recreational Photographs

Referência	Abdolvahabi et al. (2013)
Objetivos	Os autores descrevem um método de identificação de leucocoria através de fotografias.
Principais funcionalidades	Inicialmente as imagens foram recortadas para ressaltar apenas a pupila e, posteriormente elas foram convertidas para o modelo de cor HSV, onde as pupilas que continham um reflexo anormal eram diagnosticadas com leucocoria.
Ferramentas de desenvolvimento	Não temos a informação de quais ferramentas foram utilizadas.
Resultados e conclusões	Segundo os autores o resultado do estudo sugere que a imagem de uma criança com leucocoria pode fornecer não apenas o diagnóstico de leucocoria mas também o grau de leucocoria. Também pode ser identificado que a leucocoria de baixa frequência pode ser facilmente negligenciada pelos pais.

Fonte: elaborado pelo autor.

3 DESCRIÇÃO DO APLICATIVO

Neste capítulo são apresentadas as técnicas e ferramentas utilizadas para implementar o presente projeto. Também são apresentados os diagramas de atividade com os passos necessários para realizar a identificação da leucocoria através da solução desenvolvida.

3.1 ESPECIFICAÇÃO

No Quadro 5 são apresentados os Requisitos Funcionais (RF) e seus respectivos casos de uso e no Quadro 6 os Requisitos Não Funcionais (RNF).

Quadro 5 - Requisitos Funcionais

Requisito Funcional (RF)	Caso de uso (UC)
RF01: permitir ao usuário tirar fotos a partir da câmera de um dispositivo	UC01
RF02: permitir ao usuário selecionar uma foto da galeria de imagens do dispositivo	UC02
RF03: efetuar a detecção da face, olhos e íris utilizando técnicas de processamento de imagens para verificar a existência do sintoma de leucocoria	UC03
RF04: apresentar o resultado do processamento ao usuário	UC04

Fonte: elaborado pelo autor.

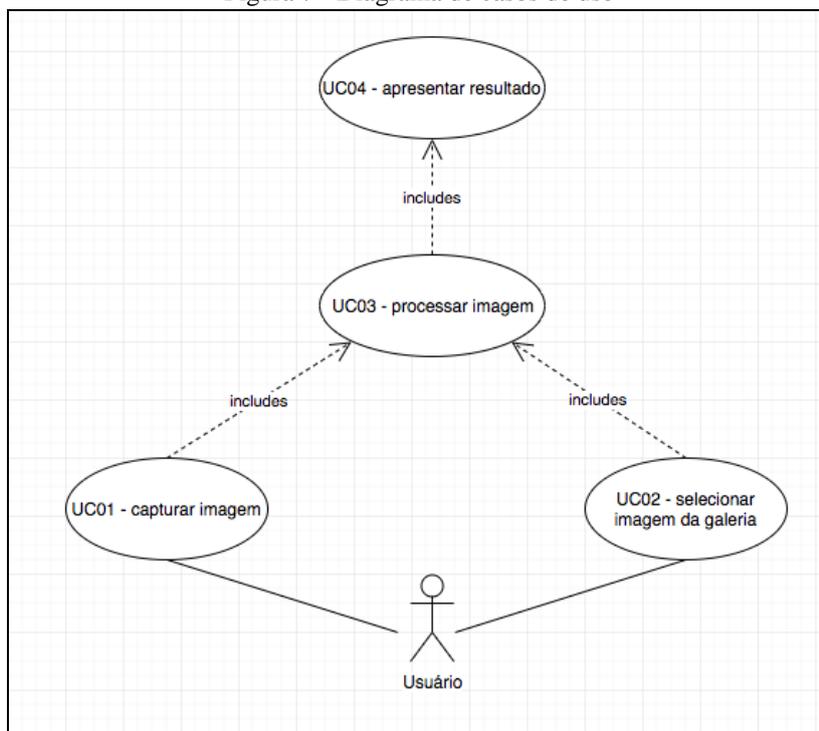
Quadro 6 - Requisitos Não Funcionais

Requisito Não Funcional (RNF)
RNF01: ser implementado na plataforma Android
RNF02: ser implementado utilizando a linguagem de programação Java
RNF03: utilizar a biblioteca OpenCV para auxiliar no processamento de imagens

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir do levantamento dos requisitos da aplicação, foi desenvolvido o diagrama de casos de uso conforme ilustrado na Figura 7, que representam as funcionalidades disponíveis para o ator Usuário.

Figura 7 - Diagrama de casos de uso



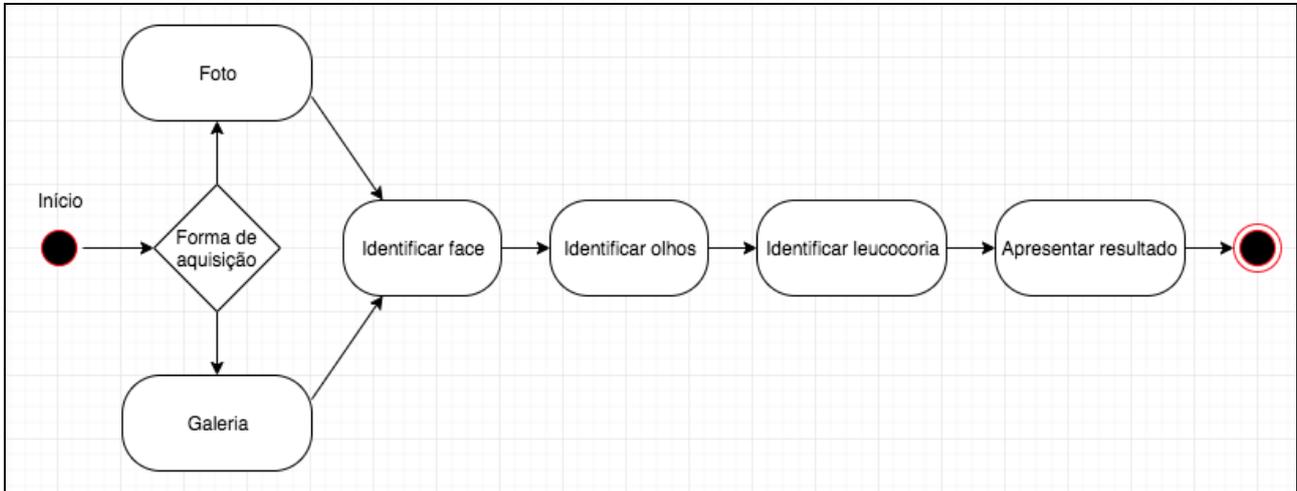
Fonte: elaborado pelo autor.

O caso de uso UC01 - capturar imagem permite ao Usuário tirar uma foto a partir do dispositivo. No caso de uso UC02 - selecionar imagem da galeria descreve a funcionalidade que permite ao Usuário selecionar uma foto da galeria de imagens do dispositivo. Existem também dois casos de uso que são utilizados por outras funcionalidades. O caso de uso UC03 - processar imagem se refere a detecção da face, região dos olhos e componentes brancas dentro da íris. E, por fim, o caso de uso UC04 - apresentar resultado que apresenta o resultado processado da imagem.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO

Para o desenvolvimento do aplicativo foi utilizado a linguagem de programação Java na versão 10. O ambiente de desenvolvimento foi o Android Studio 3.2.1. Para o processamento das imagens foi utilizada a biblioteca OpenCV4Android na versão 3.4.3. O fluxo básico de aquisição e processamento de imagens da aplicação está representado na Figura 8.

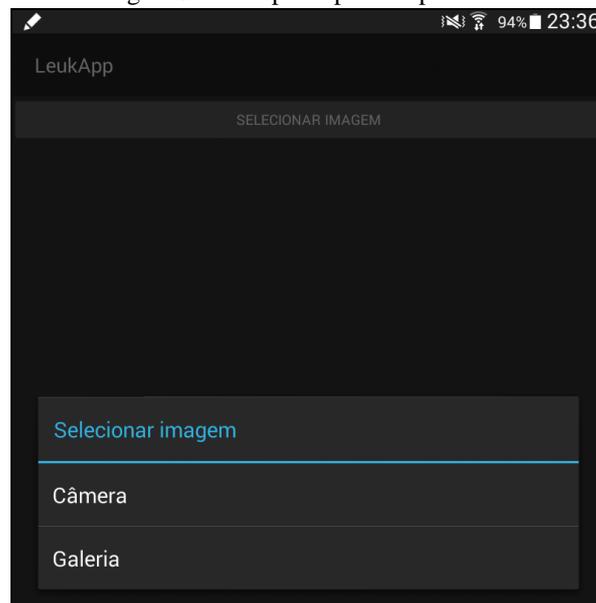
Figura 8 - Fluxo de aquisição e processamento de imagens



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao abrir o aplicativo é exibida a tela principal. Nela, o usuário seleciona a forma de aquisição da imagem conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 - Tela principal do aplicativo



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao selecionar a opção *Câmera* o usuário é redirecionado para a interface da câmera do dispositivo, podendo tirar uma foto para ser processada. Essa opção é ideal para situações onde deseja-se realizar o teste em uma pessoa presente. Ao selecionar a opção *Galeria* o usuário é redirecionado para a galeria de imagens do dispositivo para ele selecionar uma foto previamente capturada, recebida de alguém ou baixada da internet.

Para a identificação do rosto e dos olhos foi utilizado o algoritmo HaarCascade. Primeiramente é realizado o carregamento dos classificadores pré-treinados `haarcascade_frontalface_default.xml` para identificação da face e `haarcascade_eye.xml` para identificação dos olhos através da classe `CascadeClassifier` do OpenCV. O segundo passo é utilizar o método `cvtColor` para passar a imagem para escala de cinza. Em seguida, através do método `detectMultiScale` é carregada a imagem de entrada no modo de escala de cinza para buscar a face. Se a face for encontrada, é retornada à posição da face detectada na imagem. Após encontrada a face, a imagem é delimitada para a região do rosto. A Figura 10 apresenta os passos para identificação da face.

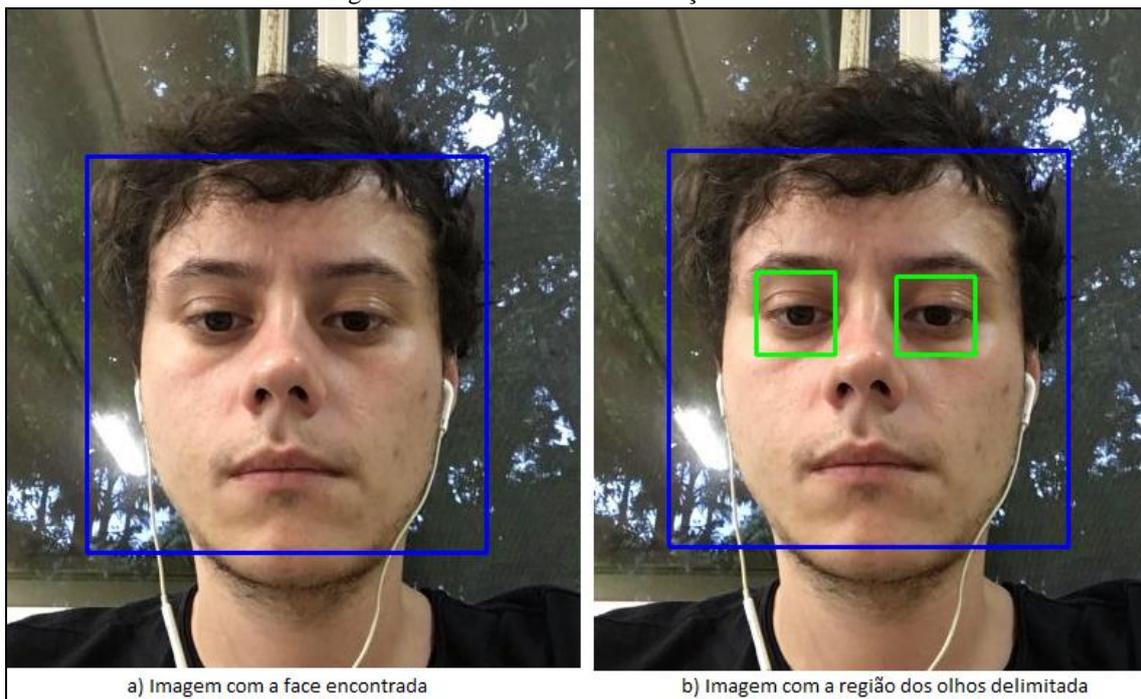
Figura 10 - Processo de identificação da face



Fonte: elaborado pelo autor.

Na detecção dos olhos é realizado o mesmo processo de identificação da face. É aplicado o método `detectMultiScale` na região da face encontrada anteriormente e caso seja encontrado os olhos, a imagem é delimitada apenas na região dos olhos. O processo de identificação dos olhos é apresentado na Figura 11.

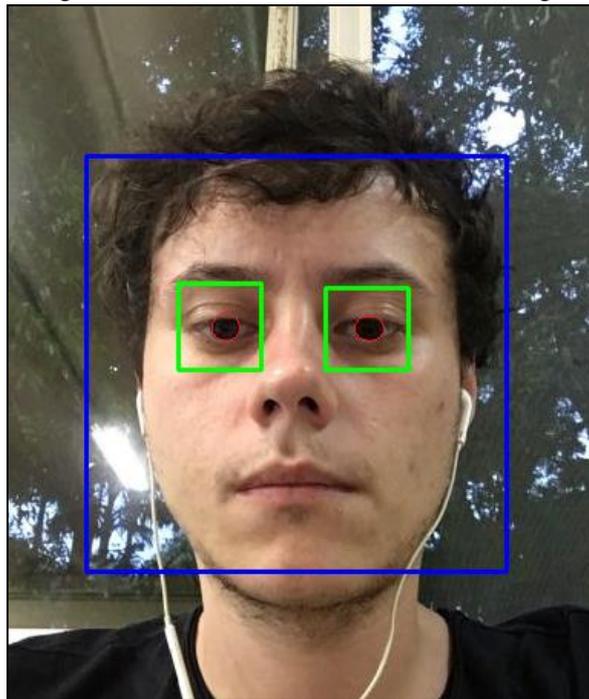
Figura 11 - Processo de identificação dos olhos



Fonte: elaborado pelo autor.

A partir dos olhos encontrados o sistema aplica um desfoque através do método `GaussianBlur` para reduzir o ruído e evitar a detecção de falsos círculos. Posteriormente é executado o método `HoughCircles` para detectar os círculos da íris. A Figura 12 apresenta o resultado da execução da transformada de Hough.

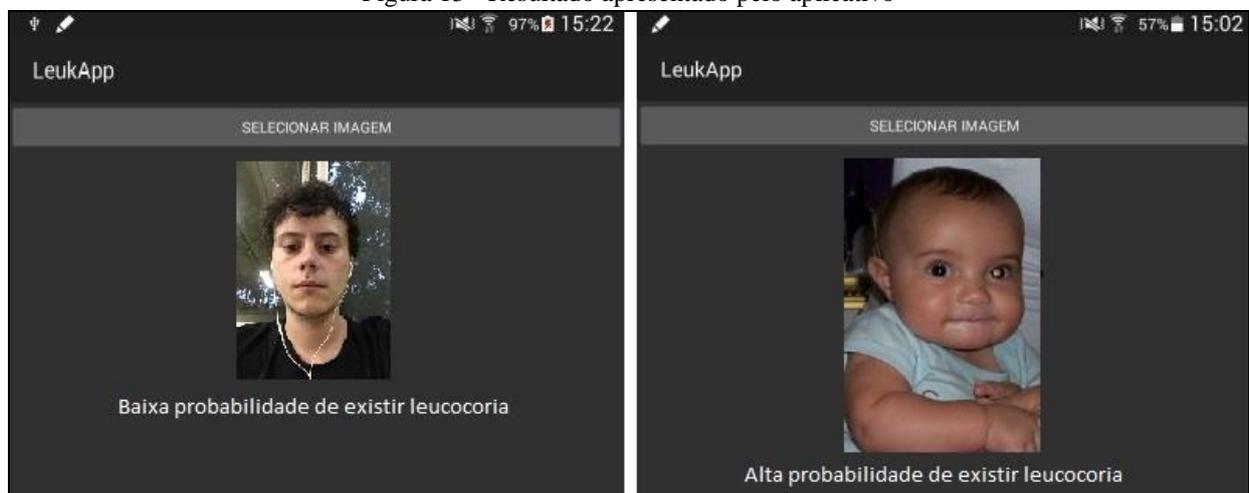
Figura 12 – Resultado da transformada de Hough



Fonte: elaborado pelo autor.

Com a região da íris identificada é aplicado o método `findContours` para verificar se existe a presença de leucocoria ou não. Na Figura 13 é exibida ao usuário a resposta da análise da imagem.

Figura 13 - Resultado apresentado pelo aplicativo



Fonte: elaborado pelo autor.

Na primeira imagem a esquerda é possível verificar não existe o sintoma de leucocoria, pois não apresenta o reflexo pupilar esbranquiçado. Já na imagem a direita, a leucocoria está presente e o aplicativo apontou a existência dela.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para verificar a precisão do aplicativo foram realizados 2 testes utilizando 53 imagens baixadas da internet. As imagens são variadas quanto a existência da síndrome, o tipo (unilateral e bilateral), ângulos, distâncias e cor dos olhos. Na Tabela 1, são apresentados os resultados da análise das 25 imagens que continham o rosto por completo. Já a Tabela 2 apresenta os resultados da análise das 28 imagens que possuem apenas a região dos olhos.

Tabela 1 - Resultado da análise das imagens que possuem a face completa

Presença de leucocoria na imagem	Quantidade de imagens analisadas	Resultado da análise
Sim	18	11 acertos
		4 erros
		3 inconclusivos
Não	7	3 acertos
		4 erros
		0 inconclusivos

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir dos resultados alcançados, conclui-se que para a análise das imagens que apresentam toda a face, a taxa de assertividade foi de 72%. Na Figura 14 são apresentadas duas imagens que tiveram a análise realizada pelo aplicativo incorretamente. No Apêndice A são apresentados os resultados detalhadamente.

Figura 14 - Análises incorretas do aplicativo



Fonte: elaborado pelo autor.

Ao analisar a imagem da Figura 14 item (a), a aplicação não conseguiu identificar a existência da leucocoria. Isso deve ter acontecido devido à posição do rosto da criança na imagem. Ou seja, o método Haar Cascade não consegue encontrar a face da criança na imagem. Já na Figura 14 item (b) a falha ocorreu por causa da cor dos olhos claros da criança, confundindo a aplicação e demonstrando que ela não funciona nessas circunstâncias.

A Tabela 2 apresenta os resultados do segundo teste, que tinha por objetivo verificar a eficiência da aplicação ao processar apenas a região dos olhos.

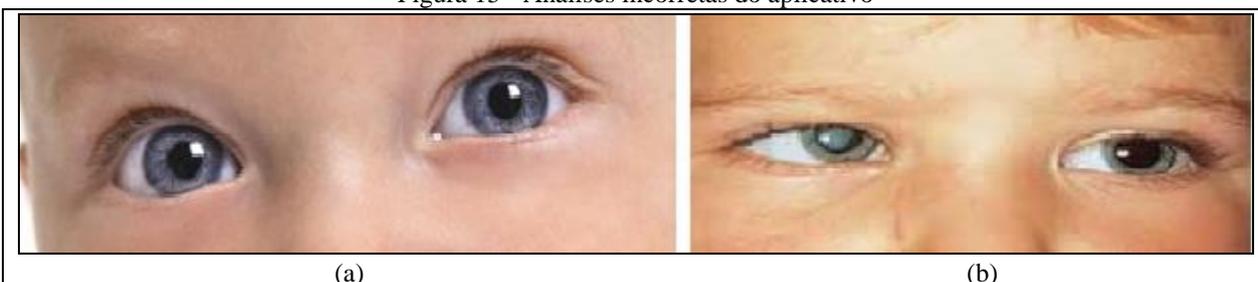
Tabela 2 - Resultado da análise das imagens que possuem apenas os olhos

Presença de leucocoria na imagem	Quantidade de imagens analisadas	Resultado da análise
Sim	18	10 acertos
		6 erros
		2 inconclusivos
Não	10	8 acertos
		2 erros
		0 inconclusivos

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir dos testes obtidos, conclui-se que o aplicativo teve uma taxa de 64,28% de assertividade para imagens que apresentam apenas os olhos. Na Figura 15 são apresentadas duas das imagens que tiveram a análise incorreta. No Apêndice A são apresentados os resultados detalhadamente.

Figura 15 - Análises incorretas do aplicativo



Fonte: elaborado pelo autor.

Na imagem da Figura 15 item (a), a análise apresentou erro novamente em relação a cor dos olhos (olhos claros) já relatados anteriormente. Na imagem da Figura 15 item (b) a falha ocorreu porque o método que identifica os olhos não conseguiu encontrar os círculos, possivelmente porque os olhos não estão totalmente abertos.

A partir dos testes realizados, pode-se concluir que o aplicativo alcançou uma taxa de acerto de 60,37%. Os principais fatores para as falhas foram a cor dos olhos e a posição da face na imagem, fazendo com que o aplicativo não encontrasse os olhos ou identificasse a cor incorretamente.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho propôs o desenvolvimento de um aplicativo para a análise de imagens a fim de identificar a leucocoria. Para realizar tal tarefa foram utilizadas técnicas de processamento de imagens. O aplicativo foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Java no ambiente Android Studio, utilizando as funcionalidades disponibilizadas pelo Android SDK. Para realizar o processamento das imagens, foi utilizada a biblioteca OpenCV4Android.

A escolha das técnicas empregadas na identificação da face e dos olhos através do método de Viola-Jones e a utilização da Transformada de Hough para identificar os círculos da pupila e íris mostraram-se acertadas. A combinação dos métodos permitiu o desenvolvimento de um aplicativo com resultado satisfatório.

A partir dos resultados é possível concluir que os objetivos iniciais propostos por esse trabalho foram alcançados. Foi criado um aplicativo móvel em uma plataforma altamente difundida e que obteve bons resultados oferecendo uma interface fácil e com boas funcionalidades. Como limitação destaca-se principalmente o método de análise das imagens, pois em alguns casos ele não consegue identificar corretamente a presença do sintoma por conta da cor dos olhos (não reconhece olhos claros) ou devido a posição da face em relação a fonte de captura (deve ser frontal).

Espera-se que, com o desenvolvimento e evolução deste aplicativo, que a leucocoria possa ser identificada precocemente, contribuindo assim para tratamentos mais rápidos e com mais chances para o portador da síndrome ter uma possível melhora. Como extensões sugere-se: 1) utilizar outras técnicas de processamento de imagens para tornar a análise mais eficiente considerando ângulos, distâncias e cor dos olhos; 2) criar versão do aplicativo para outros hardwares que se mostrarem relevantes e; 3) melhorar a apresentação do resultado, exibindo os passos utilizados na análise da imagem.

REFERÊNCIAS

- ABDOLVAHABI, Alireza et al. Colorimetric and Longitudinal Analysis of Leukocoria in Recreational Photographs of Children with Retinoblastoma. **PLoS One**, [s.l.], v. 8, n. 10, 30 out. 2013. Public Library of Science (PLoS).
- AGUIAR, Adriana Sousa Carvalho de; CARDOSO, Maria Vera Lúcia Moreira Leitão; LUCIO, Ingrid Martins Leite. Teste do reflexo vermelho: forma de prevenção à cegueira na infância. **Revista brasileira de enfermagem**, Brasília, n. 5, p. 541-545, out. 2007.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR PEDIATRIC OPHTHALMOLOGY AND STRABISMUS. **Leucocoria**. 2016. Disponível em: <<https://www.aapos.org/terms/conditions/67>>. Acesso em: 02 dez. 2018.
- BERTOLDI, Aline Reis; GONÇALVES, Brenda; CARVALHO, Thaíssa Santos. Importância da Inclusão do Teste do Reflexo Vermelho no Protocolo de Exames da Infância para Diagnóstico Precoce do Retinoblastoma/Importance of Red Reflex Test Inclusion on Children Examination Protocol for Retinoblastoma Early Diagnosis. *Revista Ciências em Saúde*, [s.l.], v. 2, n. 3, p.56-56, 31 jul. 2012. *Revista Ciências em Saude*.
- BRAGA, Luiz Filipe Zenicola. **Sistemas de reconhecimento facial**. 2013. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- BRASIL. **Teste do Olhinho pode evitar 80% dos casos de cegueira**. 2011. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/saude/2011/08/teste-do-olhinho-pode-evitar-80-dos-casos-de-cegueira>>. Acesso em: 02 dez. 2018.
- CAGLIARI, Patricia Zanotelli et al. **Alterações detectadas pelo teste do reflexo vermelho**. *Arquivos Catarinenses de Medicina*, [S.l.], v. 45, n. 3, p. 48-57, nov. 2016.
- CAMPOS Vanessa S.; LEITE Edivânia P. **Eficácia do Teste do Reflexo Vermelho na prevenção de cegueira em recém-nascidos**. 2016. 11 f. Universidade Federal da Paraíba. Paraíba. 2016
- CRADLE. **Automatic leukocoria detection**. 2014. Disponível em: <<http://cs.baylor.edu/~hamerly/leuko/>>. Acesso em: 02 dez. 2018.
- CROW, Franklin C. **Summed-area tables for texture mapping**. *Acm Siggraph Computer Graphics*, [s.l.], v. 18, n. 3, p.207-212, 1 jul. 1984.
- DUARTE, Glaucius D. **Uso da Transformada de Hough na Detecção de Círculos em Imagens Digitais**. *Thema – Revista Científica do Centro Federal de Educação Tecnológica*, vol. 4, n. 1, p. 51-58, 2003.

- FURTADO, João V. B. **Processamento de imagens segmentação**. 2016. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/5059366/>>. Acesso em: 02 dez. 2018.
- KIKAWA, M. H.; et al. **Avaliação do teste de brückner na detecção de doenças ambliopiogênicas** [Brückner test evaluation in detecting amblyogenic diseases]. Arquivos Médicos do ABC, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 6-9. 2001.
- LEDESMA, Fábio et al. **Teste do reflexo vermelho: quando deve ser aplicado e qual benefício oferece?**. Arquivos Catarinenses de Medicina, [S.l.], v. 47, n. 2, p. 204-211, jun. 2018.
- LEITÃO, C. S. et al. **Teste do olho como fator preventivo de problemas visuais infantis**. In: II Seminário Internacional de redes de Atenção à Saúde: o desenvolvimento sustentável e as perspectivas para a melhoria dos recursos na saúde, 2017, Fortaleza. Anais do Evento II SIRA Saúde. Fortaleza: EdUECE, 2017. v. 1. p. 1-200.
- MACEDO, Maysa Malfiza Garcia. **Uso da Transformada de Hough na Vetorização de Moldes e Outras Aplicações**. 2005. 105 f. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.
- MANICA, Michel Broilo et al. **O que os pediatras conhecem sobre afecções oculares na criança?** Arquivos Brasileiros de Oftalmologia, [s.l.], v. 66, n. 4, p.489-492, ago. 2003.
- MD EYECARE. 2013. Disponível em: <<http://mdeyecare.com/eng/>>. Acesso em: 02 dez. 2018.
- MONTANDON JÚNIOR, Marcelo Eustáquio et al. Leucocoria na infância: diagnóstico diferencial por ultra-sonografia, tomografia computadorizada e ressonância magnética. **Radiologia Brasileira**, [s.l.], v. 37, n. 2, p.129-138, abr. 2004. FapUNIFESP
- RODRIGUES, Karla E. S.; LATORRE, Maria do Rosário D. O.; CAMARGO, Beatriz de. **Atraso diagnóstico do retinoblastoma**. J. Pediatr. (Rio J.), Porto Alegre, v. 80, n. 6, p. 511-516, dez. 2004.
- TAMURA, M. Y.; TEIXEIRA, L. F. **Leucocoria e teste do reflexo vermelho**. Einstein, v. 7, p. 376-382, 2009.
- TROFINO, André F. N. **Implementação de sistema robótico autônomo movimentado de acordo com informações visuais**. 2014. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Engenharia de Computação, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- VIOLA, P.; JONES, M. **Rapid object detection using a boosted cascade of simple features**. Proceedings Of The 2001 Ieee Computer Society Conference On Computer Vision And Pattern Recognition. Cvpr 2001, [s.l.], 2001.

APÊNDICE A – Base de imagens

O Quadro 7 apresenta a base de imagens utilizadas nos testes do aplicativo e sua classificação (com ou sem leucocoria e o status de acerto ou não). Ela é composta por 25 imagens ao qual têm-se toda face da criança e 28 imagens com apenas a região do olho, totalizando 53 imagens. No link a seguir encontram-se as imagens utilizadas nos testes https://furb-my.sharepoint.com/personal/aureliof_furb_br/_layouts/15/onedrive.aspx?id=%2Fpersonal%2Faureliof_furb_br%2FDocuments%2FTCC%2FRafael%20Sabel%2FDataset%2Fdataset%2Ezip&parent=%2Fpersonal%2Faureliof_furb_br%2FDocuments%2FTCC%2FRafael%20Sabel%2FDataset&slrid=bd54ad9e-4002-7000-b380-a1ed852ab071.

Quadro 7 – Base de imagens para validação do aplicativo

Imagens faciais				Imagens da região do olhos			
Imagem	Leucocoria na imagem	Análise do aplicativo	Status	Imagem	Leucocoria na imagem	Análise do aplicativo	Status
IM01	Sim	Sim	Verdadeiro	IM01	Sim	Sim	Verdadeiro
IM02	Sim	Sim	Verdadeiro	IM02	Não	Não	Verdadeiro
IM03	Não	Sim	Falso	IM03	Sim	Sim	Verdadeiro
IM04	Sim	Inconclusivo	Falso	IM04	Sim	Inconclusivo	Falso
IM05	Não	Não	Verdadeiro	IM05	Sim	Sim	Verdadeiro
IM06	Não	Não	Verdadeiro	IM06	Não	Sim	Falso
IM07	Sim	Sim	Verdadeiro	IM07	Não	Não	Verdadeiro
IM08	Sim	Não	Falso	IM08	Sim	Sim	Verdadeiro
IM09	Sim	Sim	Verdadeiro	IM09	Sim	Não	Falso
IM10	Sim	Não	Falso	IM10	Sim	Não	Falso
IM11	Sim	Não	Falso	IM11	Sim	Sim	Verdadeiro
IM12	Não	Não	Verdadeiro	IM12	Não	Não	Verdadeiro
IM13	Sim	Sim	Verdadeiro	IM13	Sim	Não	Falso
IM14	Sim	Inconclusivo	Falso	IM14	Sim	Sim	Verdadeiro
IM15	Sim	Inconclusivo	Falso	IM15	Não	Sim	Falso
IM16	Sim	Não	Falso	IM16	Sim	Sim	Verdadeiro
IM17	Sim	Sim	Verdadeiro	IM17	Sim	Não	Falso
IM18	Sim	Sim	Verdadeiro	IM18	Não	Não	Verdadeiro
IM19	Não	Sim	Falso	IM19	Não	Não	Verdadeiro
IM20	Sim	Sim	Verdadeiro	IM20	Sim	Não	Falso
IM21	Não	Sim	Falso	IM21	Sim	Sim	Verdadeiro
IM22	Sim	Sim	Verdadeiro	IM22	Sim	Inconclusivo	Falso
IM23	Sim	Sim	Verdadeiro	IM23	Sim	Sim	Verdadeiro
IM24	Não	Sim	Falso	IM24	Não	Não	Verdadeiro
IM25	Sim	Sim	Verdadeiro	IM25	Não	Não	Verdadeiro
				IM26	Sim	Não	Falso
				IM27	Sim	Sim	Verdadeiro
				IM28	Não	Não	Verdadeiro

Fonte: elaborado pelo autor.