



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

FÁBINER DE MELO FUGALI

**SOFTWARE PARA QUANTIFICAÇÃO DO GLAUCOMA USANDO
IMAGENS COLORIDAS DO FUNDO DE OLHO**

Trabalho de Conclusão de Curso

Alegrete
2011

FÁBINER DE MELO FUGALI

**SOFTWARE PARA QUANTIFICAÇÃO DO GLAUCOMA USANDO
IMAGENS COLORIDAS DO FUNDO DE OLHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte das atividades para obtenção do
título de bacharel em Ciência da Computação
na Universidade Federal do Pampa.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Welfer

Alegrete

2011

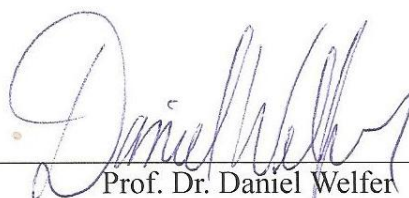
FÁBINER DE MELO FUGALI

**SOFTWARE PARA QUANTIFICAÇÃO DO GLAUCOMA USANDO
IMAGENS COLORIDAS DO FUNDO DE OLHO**

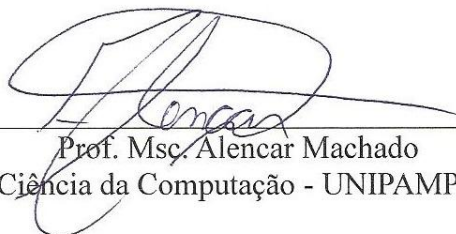
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte das atividades para obtenção do
título de bacharel em Ciência da Computação
na Universidade Federal do Pampa.

Trabalho apresentado e aprovado em: 02 de Janeiro de 2012.

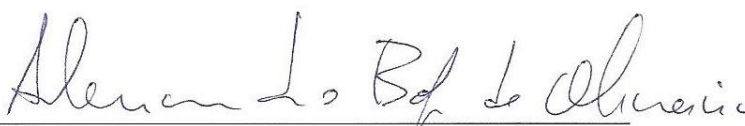
Banca examinadora:



Prof. Dr. Daniel Welfer
Orientador
Ciência da Computação - UNIPAMPA



Prof. Msc. Alencar Machado
Ciência da Computação - UNIPAMPA



Prof. Msc. Alessandro Bof de Oliveira
Ciência da Computação - UNIPAMPA

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Processamento de Imagens Aplicado - LAPIA (*Laboratory of Applied Image Processing*), que propiciou um ambiente interno à Universidade Federal do Pampa, adequado aos estudos para fins de pesquisa e desenvolvimento deste projeto.

Ao Prof. Dr. Daniel Welfer, de forma muito especial, por ser meu orientador, pela sua paciência, incentivo, auxílio e por ter oportunizado este tema de pesquisa atual e relevante para a sociedade.

À equipe da Policlínica Santa Clara, no Complexo Hospitalar Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre, em especial aos médicos oftalmologistas: Dr. Rafael de Azevedo Braga, Dr^a. Caroline Fabris e Dr. Italo Marcon, que além de demonstrarem interesse no projeto, auxiliaram de forma significativa em testes e geração de resultados do *software Glaucoma Analyser*.

À minha namorada, Jaline, que esteve presente em todos os momentos e confiou no meu potencial para realização deste projeto. Também ao amigo e colega Geancarlo, pela ajuda na parte de uso do JDBC, API da linguagem Java

Finalmente, agradeço aos meus familiares, pais Bolivar e Mara, irmã Mônica e avó Marina por acreditarem e investirem no meu futuro, apoiando em todas as etapas do período de graduação.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivo e metodologia	14
2 GLAUCOMA: MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO	17
2.1 Diagnóstico manual	17
2.2 Diagnóstico automático através da imagem da retina	20
2.2.1 Revisão da literatura.....	21
2.2.1.1 Métodos de análise através da escavação	21
2.2.1.2 Métodos de análise através de outros fatores	28
3 MÉTODO PROPOSTO PELO <i>GLAUCOMA ANALYSER</i>	33
4 MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1 Especificação de requisitos	36
4.2 Projeto de alto nível.....	39
4.2.1 Caso de uso do <i>Glaucoma Analyser</i>	39
4.2.2 Especificação das imagens.....	40
4.3 Projeto detalhado	40
4.3.1 Modelagem de requisitos	40
4.3.2 Plataforma de programação	41
4.3.3 Interface gráfica para o usuário	42
4.3.4 Controle de periféricos	44
4.3.5 Primitivas gráficas bidimensionais.....	45
4.3.6 API Java Advanced Imaging	47
4.3.7 Documentação do diagnóstico.....	48
4.4 Verificação e validação do sistema proposto	49
4.4.1 Testes de <i>software</i> realizados no <i>Glaucoma Analyser</i>	49
4.4.1.1 Detalhamento de testes realizados	52
5 RESULTADOS.....	55
5.1 Testes da equipe médica.....	55

5.2	Comparação geral com outros métodos	59
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
6.1	Trabalhos futuros	61
	REFERÊNCIAS	63
	BIBLIOGRAFIA	67

RESUMO

Glaucoma é uma doença ocular causada pelo aumento da pressão intra-ocular resultando no dano do nervo óptico. Neste trabalho, é apresentado um novo método computacional para a quantificação do glaucoma usando imagens coloridas do fundo de olho. Primeiro foi desenvolvido um *software* semi-automático que trata essa questão. Então, foi avaliado seu uso, colocando-o em atividade em uma clínica. Uma avaliação preliminar de desempenho do *software* proposto, usando imagens coloridas do fundo de olho dos pacientes do local, indica que o *software* pode conseguir uma precisão de 100%. Assim, estes resultados preliminares demonstram que a nossa abordagem potencialmente pode ser aplicada na prática.

Palavras-chave: Glaucoma. Processamento de Imagens Médicas. Desenvolvimento de *Software*.

ABSTRACT

Glaucoma is an eye disorder caused by increased intraocular pressure resulting in damage to the optic nerve. In this work, we present a new computer-based approach for quantifying glaucoma using color eye fundus images. First, we have developed a semi-automatic software that addresses this question. Then, we evaluated its use in clinical practice. A preliminary evaluation of the proposed software performance using local private color eye fundus images indicates that it can achieve an accuracy of 100%. Thus, these preliminary results suggest that our methodology potentially can be applicable in practice.

Keywords: Glaucoma. Medical Image Processing. Software Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estruturas do fundo de olho	18
Figura 2.2 – Divisão do disco em dez partes iguais	18
Figura 2.3 – Resultado da escavação	18
Figura 2.4 – Diagrama de atividades do método manual	19
Figura 2.5 – Cálculo da escavação no sistema de Zhang <i>et al.</i> (2010) e Wong <i>et al.</i> (2008). ...	20
Figura 2.6 – Etapas para a segmentação do disco. (a) Disco segmentado com filtro de canal vermelho da imagem; (b) Aplicação do filtro para suavizar os limites e geração da elipse. ...	22
Figura 2.7 – Etapas para segmentação do cálice óptico. (a) Segmentação e identificação do cálice óptico; (b) Suavização das bordas e criação de uma elipse nos seus limites.	22
Figura 2.8 – Limitações do algoritmo de Wong <i>et al.</i> (2008). (a) Detecção errada à esquerda. (b) Detecção errada à direita.....	23
Figura 2.9 – Comparação entre os métodos. (a) Detecção da região de interesse pelo método proposto por Wong <i>et al.</i> (2008). (b) Detecção da região de interesse pelo método proposto por Zhang <i>et al.</i> (2010).	24
Figura 2.10 – Imagens da retina em que o <i>software</i> de Zhang <i>et al.</i> (2010) é incapaz de gerar diagnóstico correto do glaucoma.....	25
Figura 2.11 – Identificação da região através do <i>Manual Threshold Analysis</i>	26
Figura 2.12 – Identificação da região através do <i>Color Component Analysis for Disc</i>	26
Figura 2.13 – Identificação da região através do <i>ROI based segmentation & Component Analysis Method for Cup</i>	27
Figura 3.1 – Diagrama de atividades do método semi-automático	34
Figura 4.1 – Modelo prescritivo de processo <i>V-model</i>	36
Figura 4.2 – Diagrama de caso de uso do <i>Glaucoma Analyser</i>	39
Figura 4.3 – Interface do <i>software</i> proposto.....	44
Figura 4.4 – Geração de primitivas gráficas horizontais	46
Figura 4.5 – Geração de primitivas gráficas verticais	47
Figura 4.6 – Diagrama entidade-relacionamento	48
Figura 4.7 – Principais técnicas de teste de <i>software</i>	50
Figura A.1 – Diagrama de sequência para abrir a imagem	68
Figura A.2 – Diagrama de sequência para fechar o sistema.....	68
Figura A.3 – Diagrama de sequência para imprimir imagem.....	69
Figura A.4 – Diagrama de sequência para gestão da base de dados	70
Figura A.5 – Diagrama de sequência para salvar imagem	71

Figura A.6 – Diagrama de sequência inserir registros de diagnósticos de pacientes	72
Figura C.1 – Diagrama de classes do <i>Glaucoma Analyser</i>	73
Figura E.1 – Gráfico para comparação de resultados	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Comparação entre os resultados gerais obtidos através dos dois métodos.....	24
Tabela 2.2 – Comparação entre os resultados obtidos.....	27
Tabela 4.1 – Tipos de testes modelo V.....	51
Tabela 4.2 – Tipos de testes externos ao modelo V	51
Tabela 5.1 – Fórmulas para o cálculo da sensibilidade e especificidade	56
Tabela 5.2 – Resultado parcial	56
Tabela 5.3 – Resultados gerais da validação com 34 imagens	58
Tabela 5.4 – Resultados preliminares.....	58
Tabela D.1 – Tabela paciente	78
Tabela D.2 – Tabela registro_paciente	78
Tabela E.1 – Comparação entre <i>Glaucoma Analyser</i> e os métodos existentes.....	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- API – (*Application Programming Interface*). Interface de programação de aplicações.
- CDR – (*Cup to Disc Ratio*). Razão entre cálice e disco óptico, definido como escavação.
- GUI – (*Graphical User Interface*). Interface gráfica para o usuário.
- JAI – (*Java Advanced Imaging*). API Java para processamento de imagens.
- JDBC – (*Java Database Connectivity*). Conexão de banco de dados em Java.
- JPG – (*Joint Photographic Experts Group*). Formato de imagem.
- JVM – (*Java Virtual Machine*). Máquina virtual Java.
- MLP – (*Multilayer Perceptrons*). *Perceptrons* de camadas múltiplas.
- PNG – (*Portable Network Graphics*). Formato de imagem
- ROI – (*Region of Interest*). Região de interesse.
- SLT – (*Scanning-Laser-Tomography*). Tomografia por escaneamento a laser.
- SGBD – Sistema de gerenciamento de banco de dados.
- SQL – (*Structured Query Language*). Linguagem de consulta estruturada.
- SVM – (*Support Vector Machines*). Máquinas de vetores de suporte.
- TIFF – (*Tagged Image File Format*). Formato de imagem.
- UML – (*Unified Modeling Language*). Linguagem de modelagem unificada.

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica aliada às ciências médicas veio permitir que em um elevado número de pessoas fosse evitado não apenas a cegueira, como também a diminuição da visão. Com a melhor informação da população associada aos enormes avanços que se foram conquistando nos últimos anos em matéria de diagnóstico e tratamento das doenças oftalmológicas, há possibilidade de prevenção e tratamento de doenças consideradas incuráveis há alguns anos atrás. (MARINHO *et al.*, 2004, p. 02).

O glaucoma pode ser definido como uma neuropatia óptica, ou seja, uma doença do sistema nervoso com fatores de risco que incluem o aumento da pressão intra-ocular, idade e predisposição genética, caracterizada por padrões reconhecíveis do disco óptico, estruturas das fibras nervosas da retina e perda do campo visual (LIM; GOLDBERG, 2010, p. 03).

Hatanaka e Vessani (2006, p. 585) relatam “O Glaucoma é conhecido há muito tempo (...) o termo deriva de *glaukós*, do grego antigo, cujo significado “de coloração azul-acizentada” faz referência ao aspecto adquirido pela córnea edemaciada¹ em casos avançados da doença(...)”. Segundo Zhang *et al.* (2010) grande parte das pessoas que possuem glaucoma não sabem de sua existência, um fator alarmante, já que os mesmos autores ressaltam que a doença pode levar à perda irreversível de parte da visão, ou até mesmo à cegueira total, se não for identificada e tratada com antecedência. Segundo Kavitha *et al.* (2010), a doença afeta mais de 66,8 milhões de pessoas pelo mundo. Quigley e Broman (2006) publicaram uma estimativa do número de pessoas afetadas pelo glaucoma em todo o mundo e sugerem que até 2020 haverá aproximadamente 80 milhões de pessoas com a doença, dos quais 11 milhões serão bilateralmente cegos.

Há poucos dados disponíveis sobre a prevalência de glaucoma na população brasileira. Mas, Leite *et al.* (2011) relatam um estudo realizado no sul do Brasil que encontrou uma prevalência de glaucoma de aproximadamente 3,4% em uma amostra de 1.636 indivíduos com mais de 40 anos de idade. Quase 90% dos pacientes de glaucoma não estavam cientes de seus diagnósticos, um número que é muito maior do que as estimativas da doença anteriormente relatada para os países desenvolvidos, que foram perto de 50%. Os mesmos autores ainda indicam que de acordo com a estimativa das Nações Unidas, o número de brasileiros com mais de 60 anos terá um crescimento aproximado de 20 milhões de pessoas

¹ Edemaciada: com acúmulo anormal de líquido em qualquer tecido ou órgão (FERREIRA, 2004).

em 2010 para 64 milhões em 2050, representando um aumento de 800 mil pessoas com glaucoma em 2010 para aproximadamente 2,6 milhões em 2050. (LEITE *et al.*, 2011 *apud*. SAKATA *et al.*, 2007; UNITED NATIONS POPULATION DIVISION, 2008)

Conforme Lim e Goldberg (2010) o glaucoma é a principal causa de cegueira no mundo, perdendo apenas para a catarata. No entanto, os mesmos autores esclarecem que apesar do dano ser irreversível, é possível ser evitado através de tratamento, já que o glaucoma é a principal doença que, sendo tratada, pode evitar a cegueira. Lim e Goldberg (2010) alertam: “Como a prevalência da doença aumenta exponencialmente com o aumento da idade, o glaucoma é definido de forma inexorável, um problema de saúde pública mundial”.

O glaucoma pode ser detectado pelo exame da retina através da tonometria (análise da pressão intra-ocular), pela análise do campo visual através da perimetria ou pela avaliação da estrutura do disco óptico (LIM; GOLDBERG, 2010, p.03). Neste trabalho, trataremos apenas sobre o diagnóstico através da avaliação do disco óptico, mensurando a escavação², pois conforme descrito por Zhang *et al.* (2010) “(...) se existe alguma modificação no tamanho da escavação possivelmente trata-se da ocorrência do glaucoma”.

Estadisticamente o aumento da pressão intra-ocular não necessariamente condiz com presença de glaucoma e inversamente, a pressão intra-ocular estando normal também não exclui a possibilidade da existência da doença. Do ponto de vista da gestão de pacientes, o significado disso é que o diagnóstico do glaucoma deve ser baseado principalmente na **análise do disco óptico**. (LOEWEN; TANNA, 2010, p. 35)

As complicações agregadas ao desenvolvimento do glaucoma podem ser minimizadas ou paradas através de meios médicos e cirúrgicos. (WONG *et al.*, 2008, p.01) Assim, se pode concluir que é de suma importância a implementação de métodos e ferramentas que auxiliem no diagnóstico desta doença.

1.1 Objetivo e metodologia

O presente trabalho tem por objetivo geral projetar um *software* para diagnóstico semi-automático do glaucoma, a fim de sistematizar o método utilizado atualmente pelos

² Escavação é a razão entre o cálice e o disco óptico, estruturas visíveis na Figura 1.1. (ZHANG *et al.*, 2010)

médicos oftalmologistas³ da Policlínica Santa Clara, no Complexo Hospitalar Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre. Além deste, tem por objetivos específicos a implementação de um *software*:

- Acessível a consultórios de oftalmologia comuns, ou seja, sem necessidade de *hardware* específico somente para este fim;
- Intuitivo e de fácil manuseio pela equipe médica;
- Dinâmico o suficiente para prover o melhor entendimento do paciente sobre sua doença;
- Eficaz no acompanhamento do estágio da doença, documentando o processo para permitir comparações pré e pós-tratamento.

No término do projeto, com a existência de uma versão final do *software* avaliada de forma satisfatória, pretende-se publicar o método em uma revista científica da área de processamento de imagens, a fim de contribuir em avanços da medicina para que atuantes da área possam conhecer o método semi-automático de diagnóstico do glaucoma e até mesmo fazer uso do programa em clínicas especializadas.

O método descrito pela equipe médica envolvida no projeto calcula manualmente a relação entre o cálice (área mais clara na parte interna do disco óptico) e o disco óptico, denominada escavação do nervo óptico. No processo de diagnóstico manual, para cada consulta realizada, os médicos oftalmologistas analisam as imagens da retina dos pacientes e, manualmente examinam se existe alguma anormalidade na escavação. Contudo, esse método demanda esforço manual, e muito tempo, o que pode elevar os custos da consulta (WONG *et al.*, 2008).

Portanto, as contribuições esperadas deste trabalho envolvem a proposta de um método semi-automático para diagnóstico do glaucoma e o desenvolvimento de um sistema informatizado (baseado no protocolo do método manual para avaliação da estrutura do disco óptico), a fim de tornar o procedimento menos exaustivo, conforme solicitação da equipe médica envolvida no projeto.

O trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2, descrevemos os métodos de diagnóstico do glaucoma existentes, bem como, os trabalhos relacionados. No Capítulo 3, apresentamos o novo método proposto, semi-automático. No Capítulo 4, especificamos as etapas de engenharia do *software*, desde a especificação dos requisitos até testes de validação

³ Dr. Rafael de Azevedo Braga, Dr^a. Caroline Fabris o e Dr. Italo Marcon são os médicos oftalmologistas envolvidos no projeto.

e verificação. No Capítulo 5, relatamos os resultados preliminares alcançados. Finalmente, no Capítulo 6, apresentamos as principais discussões da pesquisa e sugerimos trabalhos futuros.

2 GLAUCOMA: MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO

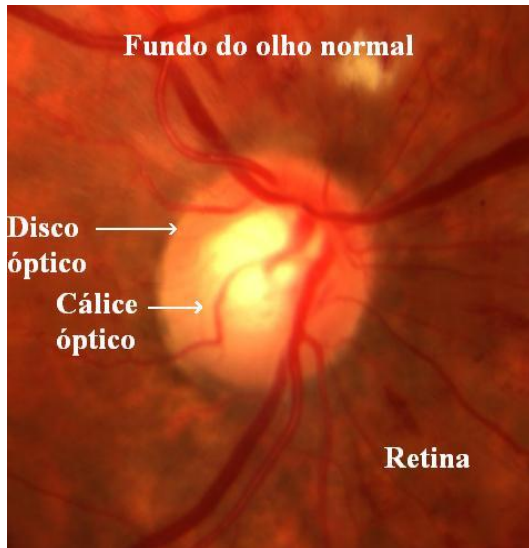
O diagnóstico do glaucoma através da análise da estrutura do disco óptico é obtido nas clínicas de oftalmologia geralmente através de métodos manuais. (ZHANG *et al.*, 2010) No entanto, as pesquisas envolvendo a criação de métodos automáticos são relevantes, principalmente pela necessidade de aprimoramento na análise da quantificação da escavação do glaucoma.

Neste capítulo são apresentados alguns dos trabalhos mais recentes e significativos de diagnóstico do glaucoma através da estrutura do disco óptico, relatando métodos manuais e automáticos.

2.1 Diagnóstico manual

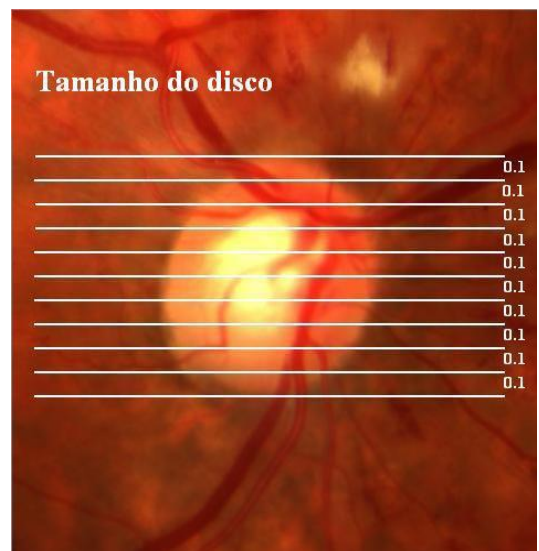
A análise praticada atualmente na grande maioria das clínicas oftalmológicas é determinada por médicos especialistas através de métodos manuais. O processo é altamente dependente da experiência e especialização dos oftalmologistas, e como tal, a avaliação pode variar entre os profissionais e a análise pode ser subjetiva (ZHANG *et al.*, 2010 ; WONG *et al.*, 2008). A dependência de esforços manuais, a necessidade de recursos complementares (*e.g.* impressão em papel e materiais métricos) e o tempo demasiado para cálculo do resultado podem gerar um diagnóstico impreciso. Assim, este método é considerado uma etapa crítica na detecção do glaucoma, principalmente em suas fases iniciais, tendo como consequência o atraso para início do tratamento médico (WONG *et al.*, 2008). A Figura 2.1 mostra o disco óptico e cálice óptico na retina, componentes importantes para gerar a escavação através deste método. Na Figura 2.2 é possível observar o cálculo da razão entre o disco e o cálice óptico, considerando o disco óptico dividido em dez partes iguais, exatamente como é feito no diagnóstico manual (ZHANG *et al.*, 2010 ; WONG *et al.*, 2008 ; KAVITHA *et al.*, 2010). Finalmente, na Figura 2.3 o resultado é apresentado, ou seja, o tamanho da escavação correspondente à imagem de exemplo. Neste caso, o resultado obtido foi 0.6 ou 60% do tamanho do disco.

Figura 2.1 - Estruturas do fundo de olho



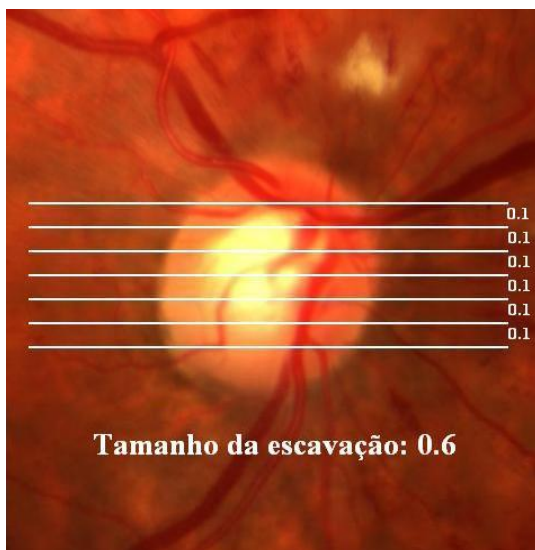
Fonte: Departamento de Oftalmologia da Policlínica Santa Clara, 2011.

Figura 2.2 - Divisão do disco em dez partes iguais



Fonte: Departamento de Oftalmologia da Policlínica Santa Clara, 2011.

Figura 2.3 – Resultado da escavação

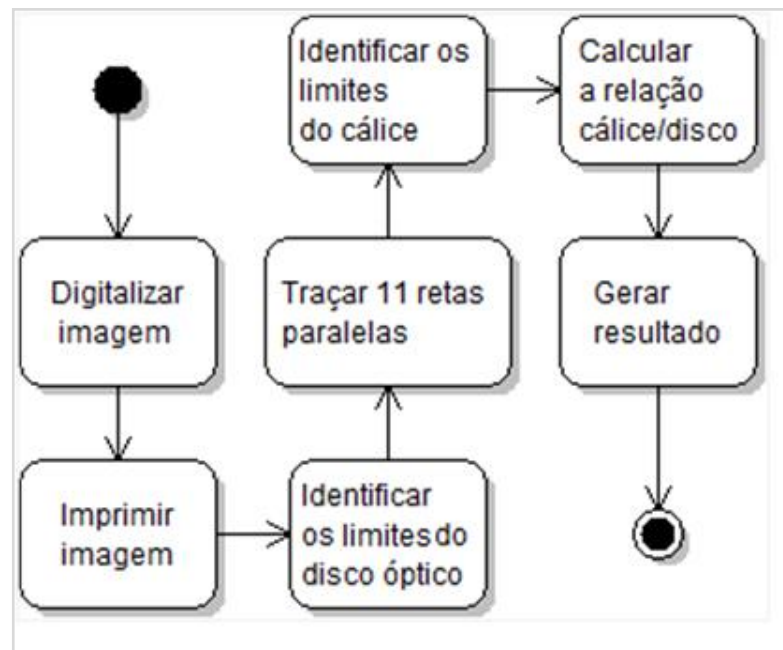


Fonte: Departamento de Oftalmologia da Policlínica Santa Clara, 2011.

O processo de divisão do disco óptico em dez partes iguais faz parte do protocolo de diagnóstico, referenciado na literatura como uma prática comum nas clínicas de oftalmologia. Além disso, esta informação também foi relatada pelos oftalmologistas envolvidos no projeto, justificando a adoção do método neste trabalho. Segundo Wong *et al.*, (2008) a razão entre o disco e o cálice óptico denominada de escavação do disco óptico é um dos fatores mais importantes para detecção de presença do glaucoma no paciente examinado. Zhang *et al.* (2010) relata que um valor de escavação maior ou igual a 0.7 indica alto risco de constatação de que o paciente possui glaucoma, valor este, adotado como padrão para diagnóstico segundo a equipe médica especialista.

O diagrama de atividades é mostrado na Figura 2.4 para a visualização do fluxo de execução do diagnóstico manual através da avaliação da estrutura do disco óptico. O diagrama é executado com o uso de materiais métricos (*e.g.* régua), folha de papel e recursos para gerar o cálculo da escavação.⁴

Figura 2.4 – Diagrama de atividades do método manual



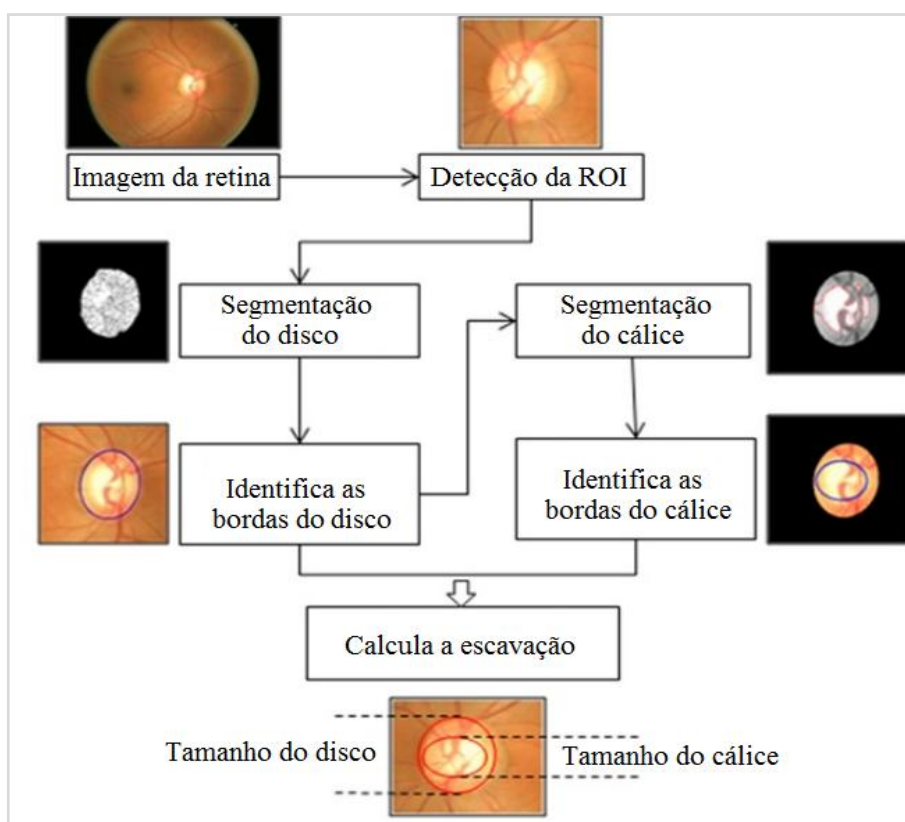
Fonte: FUGALI; WELFER (2012).

⁴ Informação fornecida pelos médicos Dr. Rafael de Azevedo Braga, Dr^a. Caroline Fabris o e Dr. Italo Marcon, envolvidos no projeto.

2.2 Diagnóstico automático através da imagem da retina

Atualmente existem estudos de métodos automáticos para fazer o diagnóstico da imagem da retina, visando desenvolver um sistema que facilite a identificação do glaucoma ainda em fases iniciais. A ferramenta precisa ter recursos que possibilite o processamento da imagem de entrada e identifique os pontos extremos das bordas do disco e do cálice óptico e extraia o nível de escavação. Há vários métodos que operam através de processamento de imagens fazendo uso de filtros, análise de luminância⁵ dos *pixels*, fusão de imagens adquiridas por meios distintos com diferentes informações, uso de equações geométricas para eliminação de bordas da imagem, medição de ângulos observados na imagem através de conceitos de geometria analítica e algoritmos que têm a capacidade de reconhecer padrões. Estes métodos têm como objetivo comum preservar a precisão da análise da retina. Uma demonstração detalhada pode ser vista na Figura 2.5 do método automático da abordagem de Zhang *et al.* (2010) e Wong *et al.* (2008).

Figura 2.5 – Cálculo da escavação no sistema de Zhang *et al.* (2010) e Wong *et al.* (2008).



Fonte: modelo de escavação do sistema de ZHANG *et al.*(2010).

⁵ Luminância é definida como sendo o nível de intensidade luminosa por unidade de superfície aparente do objeto luminoso. (AUMONT, 2008)

Com a observação do diagrama apresentado na Figura 2.5 (mostrado acima), nota-se que um algoritmo que usa esta abordagem pode facilmente identificar o glaucoma sem nenhuma intervenção médica. Entretanto, as imagens processadas no sistema podem possuir falhas nas suas estruturas, pois essas imagens não possuem características bem definidas. Outro fator importante que pode causar falha no diagnóstico é que o paciente pode possuir outras doenças⁶ que causam danos na retina. Também, muitas estruturas vasculares⁷ sobre o cálice óptico ou outros problemas omissos, dificultam o processamento gráfico da imagem.

2.2.1 Revisão da literatura

2.2.1.1 Métodos de análise através da escavação

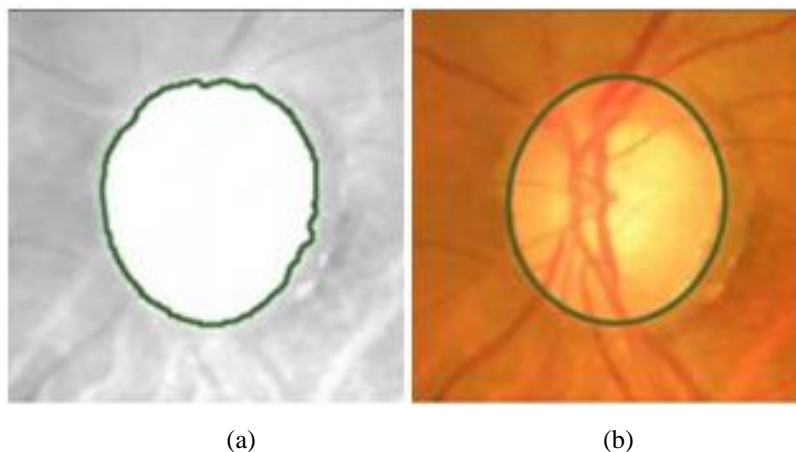
Wong *et al.* (2008) opera com um algoritmo chamado ARGALI (*Automated an Automatic cup-to-disc Ratio measurement system for Glaucoma detection and AnaLysIs*) que detecta a intensidade de luminância dos *pixels* da imagem. A medição automática da escavação do disco óptico é um processo desafiador, devido à presença de grandes quantidades de vasos sanguíneos que passam sobre o disco óptico. Vários fatores podem causar mudanças no exame, resultando na detecção incorreta dos limites do disco. (WONG *et al.*, 2008) Para detectar o local do disco com precisão, *pixels* da imagem em tons de cinza com maior intensidade são selecionados como região do disco, onde geralmente estão em maior quantidade. A imagem é então dividida em 64 regiões de 8x8 *pixels* e a região que possui o maior grau de intensidade dos *pixels* é então marcada como a área de localização do disco óptico. O algoritmo é aplicado na imagem e identifica a região de interesse. Após, é utilizado o componente vermelho na imagem que é considerado mais nítido, devido à influência de vasos sanguíneos que estão no disco. Então, é aplicado na imagem um filtro para suavizar os limites e é gerada uma elipse nas bordas detectadas. Há essa necessidade porque o disco pós-segmentado possui imperfeições nas suas curvas que foram causadas pelos vasos sanguíneos entrelaçados. (WONG *et al.*, 2008) A criação da elipse ajuda a produzir uma melhor determinação dos limites do disco óptico. Logo em seguida, é feito o mesmo exame para o cálice óptico e com sua identificação é gerado o resultado da escavação do disco óptico. A Figura 2.6 (a) demonstra os passos da segmentação da imagem e identificação dos

⁶ Jan *et al.* (2007) cita a doença Diabetes e Lee *et al.* (2007) cita a doença Degeneração Macular Associada à Idade (retinopatias).

⁷ Por estruturas vasculares entende-se veias e artérias.

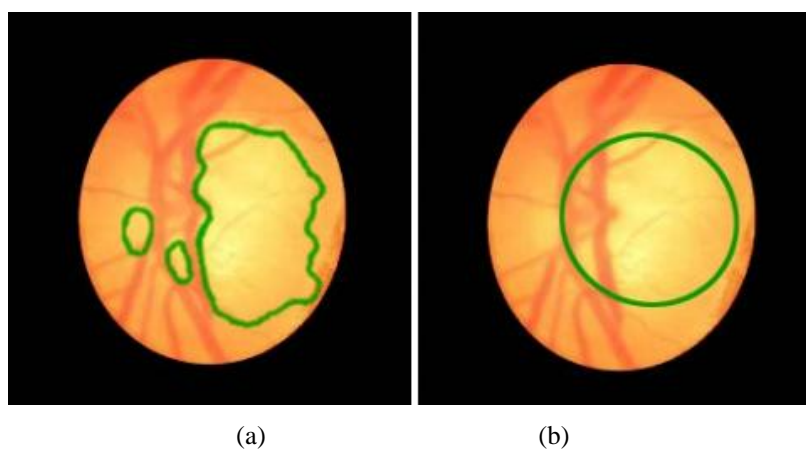
limites do disco óptico e na Figura 2.6 (b) aplica-se um filtro e é gerada uma elipse nas bordas. Na Figura 2.7 (a) se pode observar a segmentação e identificação do cálice óptico e na Figura 2.7 (b) suaviza-se as bordas e é criada uma elipse nos seus limites.

Figura 2.6 – Etapas para a segmentação do disco. (a) Disco segmentado com filtro de canal vermelho da imagem; (b) Aplicação do filtro para suavizar os limites e geração da elipse.



Fonte: WONG *et al.*, 2008.

Figura 2.7 – Etapas para segmentação do cálice óptico. (a) Segmentação e identificação do cálice óptico; (b) Suavização das bordas e criação de uma elipse nos seus limites.



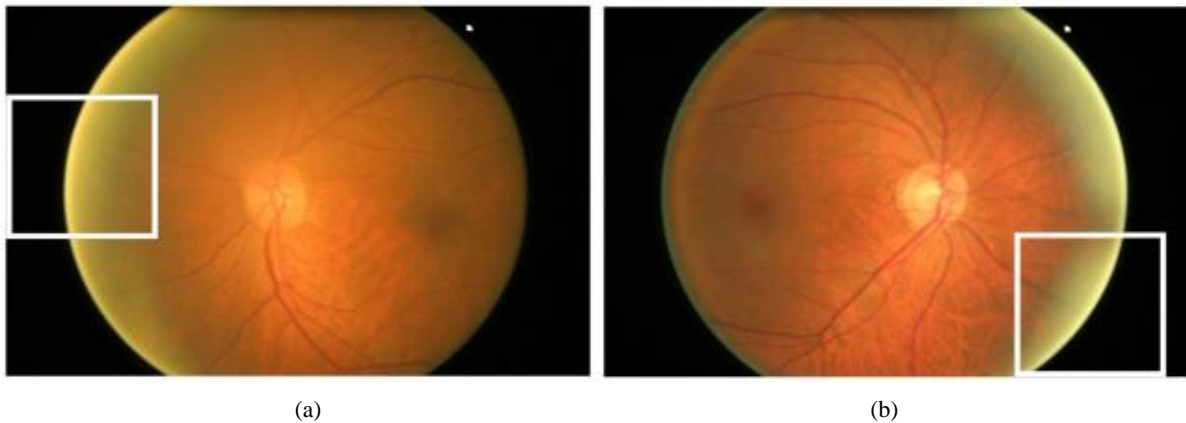
Fonte: WONG *et al.*, 2008.

A problemática dessa análise está relacionada aos casos em que a imagem da retina dificulta a determinação desses limites, o que acontece em pacientes que possuam muitos vasos sanguíneos sobre o disco óptico ou pacientes que tenham glaucoma em um estágio mais avançado. Outro fator de imprecisão é causado pela luminosidade inadequada que pode aparecer nas bordas da imagem, devido à má posição do paciente no momento da

digitalização. Esses fatores resultam na localização de uma região de interesse errônea. (WONG *et al.*, 2008)

Zhang *et al.* (2010) propõe um algoritmo de melhoramento ao método citado anteriormente, descrito por Wong *et al.* (2008). Conforme relatado pelos autores, o método anterior possui um sério problema de iluminação irregular na imagem, causando análises totalmente erradas. O método é incapaz de detectar corretamente a região de interesse em determinadas imagens, sendo necessária a intervenção humana para decidir onde está a localização exata da região de interesse. A Figura 2.8 demonstra os problemas relatados, onde a região de interesse que é identificada pelo retângulo mostrado, não é a região do disco óptico, pois o algoritmo identifica a região de interesse através da intensidade da luminância dos *pixels*.

Figura 2.8 – Limitações de Wong *et al.* (2008). (a) Detecção errada à esquerda. (b) Detecção errada à direita.



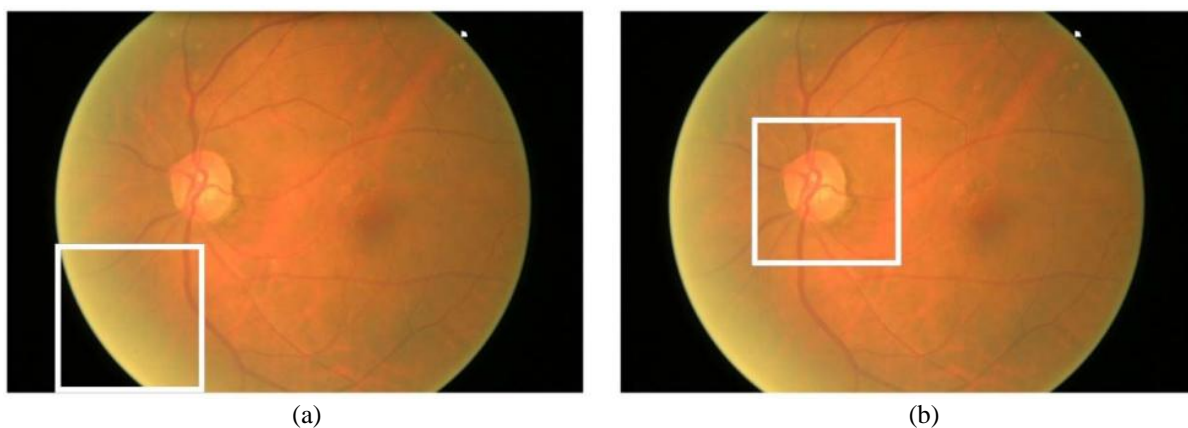
Fonte: ZHANG *et al.*, (2010).

Assim, no novo método proposto por Zhang *et al.*, (2010) é pesquisado uma solução para o problema. Desse modo, foi criada uma etapa de pré-processamento da imagem para reduzir ou excluir da análise os pontos luminosos que não fazem parte da região de interesse. Nesta etapa é usada a equação da circunferência para analisar somente a região central da imagem, visto que as falhas estão nas bordas da imagem da retina. (ZHANG *et al.*, 2010) A equação é expressada como $x^2 + y^2 + ax + by + c = 0$.

Conforme relatado por Zhang *et al.* (2010), para encontrar os valores de a, b e c é usado o método dos quadrados mínimos. Esta equação usa uma medida estimada para o raio que seja um pouco menor que o raio da imagem da retina, já que é uma imagem circular, com o objetivo de eliminar a análise dos *pixels* luminosos nas bordas da imagem. Depois que a borda da imagem é removida da análise, os pontos com luminância encontrados fazem parte da região de interesse para a localização do disco óptico. A Figura 2.9 demonstra a detecção

da região de interesse: (a) método de Wong *et al.* (2008). (b) Novo método proposto por Zhang *et al.* (2010). Na Tabela 2.1 podemos ver a comparação entre os dois métodos de forma geral, através de um mesmo conjunto de imagens.

Figura 2.9 – Comparação entre os métodos. (a) Detecção da região de interesse pelo método proposto por Wong *et al.* (2008). (b) Detecção da região de interesse pelo método proposto por Zhang *et al.*(2010).



Fonte: ZHANG *et al.* (2010).

Tabela 2.1 – Comparação entre os resultados gerais obtidos através dos dois métodos.

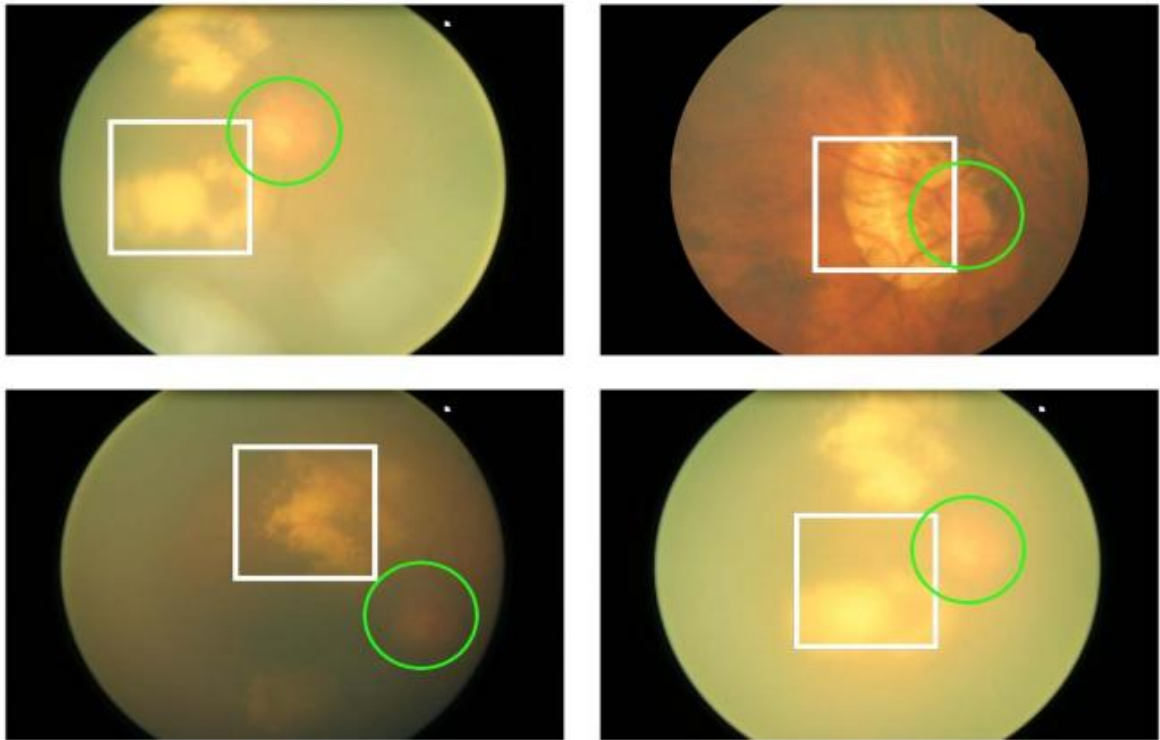
	Wong <i>et al.</i> (2008)	Wong <i>et al.</i> (2008)	Zhang <i>et al.</i> (2010)	Zhang <i>et al.</i> (2010)
Detecção da região de interesse	Incorreta	Correta	Incorreta	Correta
Sem glaucoma	117(10.8%)	965(89.2%)	25(2.3%)	1057(97.7%)
Com glaucoma	73(15.6%)	409(84.4%)	32(6.6%)	450(93.4%)

Fonte: ZHANG *et al.* (2010).

Podemos observar que o algoritmo proposto por Zhang *et al.* (2010) possui um nível de precisão maior para detecção correta da região de interesse em relação ao método anterior proposto por Wong *et al.* (2008). No entanto, ambos os algoritmos são incapazes de localizar a região de interesse em alguns casos. Há possibilidade das imagens da retina possuir regiões com maior luminância que não estão concentradas na região do disco óptico e nem em suas bordas. Na Figura 2.10 são mostradas algumas imagens em que o *software* usando a abordagem de Zhang *et al.* (2010) falha. O círculo verde demonstra a localização correta da

região de interesse, enquanto o retângulo branco demonstra a localização errada da região de interesse feita pelo mesmo *software*.

Figura 2.10 - Imagens da retina em que o *software* de Zhang *et al.* (2010) é incapaz de gerar o diagnóstico correto do glaucoma.



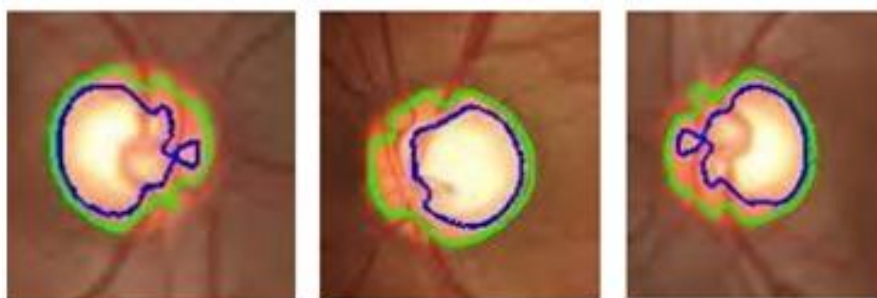
Fonte: ZHANG *et al.*, (2010).

As imagens utilizadas possuem grandes manchas de anormalidades que são bem diferentes de imagens da retina de olhos saudáveis e normais. De acordo com especialistas consultados, podem existir pacientes que tenham outras doenças oculares, o que explica essa luminância mais intensa na imagem da retina, ficando impossível de diagnosticar o glaucoma através do *software* implementado.

Kavitha *et al.* (2010) apresentam um método para a detecção automática do disco óptico utilizando uma região de interesse. A detecção do contorno exato do disco óptico é o fator principal da pesquisa. A principal vantagem desse método é sua capacidade de superar a variabilidade de condições presentes na imagem. (KAVITHA *et al.*, 2010) O número de *pixels* com o tom de cinza é usado para encontrar o disco e o cálice óptico obtidos pelos métodos acima mencionados. O sistema usa diferentes técnicas para detecção do disco e do cálice óptico, sendo que para detecção do disco óptico há três técnicas independentes, ou seja, uma não interfere no resultado da outra para detecção do disco. A técnica denominada

Manual Threshold Analysis remove os vasos sanguíneos da imagem, através de filtro de escala de cinza. A imagem é analisada por *pixels* individuais, assumindo que onde tiver maior luminância na região do cálice óptico, o valor do pixel recebe 0, caso contrário o valor do *pixel* recebe 1. O limite mínimo de aplicação deste filtro de escala de cinza é usado para determinação da região do disco óptico. A Figura 2.11 demonstra o método em uso mostrando a área identificada como cálice (em azul) e disco óptico (em verde).

Figura 2.11 - Identificação da região através do *Manual Threshold Analysis*.



Fonte: KAVITHA *et al.* (2010).

Na *Color Component Analysis for Disc* é feita a análise de componentes RGB das imagens, verificando-se que o disco óptico é mais facilmente segmentado com o componente vermelho aplicado na imagem. Para medir o disco de forma mais precisa, os vasos sanguíneos da imagem devem ser removidos. A Figura 2.12 demonstra a identificação da região através deste método, disco óptico em azul e cálice óptico em verde.

Figura 2.12 – Identificação da região através do *Color Component Analysis for disc*.



Fonte: KAVITHA *et al.*, (2010).

A *ROI*⁸ *based segmentation* extrai o disco óptico para encontrar a região de interesse com base nas cores da imagem. A identificação da área de interesse é dada através de um valor de luminância dos *pixels* já definido. Para a detecção do cálice óptico, é abordada a técnica *Component Analysis Method for Cup* que segmenta o cálice óptico, a tarefa mais difícil desse processo, devido à elevada densidade de vasos sanguíneos que atravessam os limites do cálice. Este componente localiza o cálice óptico de forma eficiente, mesmo que a imagem seja de baixo contraste. A Figura 2.13 mostra a identificação da área de interesse através desses dois métodos.

Figura 2.13 – Identificação da região através do *ROI based segmentation & Component Analysis Method for cup*.



Fonte: KAVITHA *et al.*, (2010).

Os autores estipulam regras que podem comparar os resultados da escavação para definir a técnica mais apurada para a solução do problema. A Tabela 2.2 demonstra a comparação dos três métodos de Kavitha *et al.* (2010) com a abordagem utilizada nas clínicas médicas, onde é definida a sigla CDR (*Cup to Disc Ratio*) para escavação do disco óptico.

Tabela 2.2 Comparação entre os resultados obtidos.

IMAGES	CLINICAL CDR	MANUAL THRESHOLD CDR	COMPONENT ANALYSIS CDR	ROI & COMPONENT CDR
G1	0.35	0.4616	0.4733	0.3174
G2	0.35	0.41668	0.3267	0.3251
G3	0.25	0.2689	0.2584	0.2216
G4	0.5	0.4013	0.7523	0.4956
G5	0.35	0.6794	0.4236	0.3331
G6	0.35	0.6041	0.5011	0.3712
G7	0.35	0.5136	0.4389	0.3543
G8	0.4	0.5887	0.4889	0.3627
G9	0.3	0.601	0.3006	0.3189
G10	0.55	0.5892	0.5399	0.506
G11	0.7	0.5679	0.6912	0.6104
G12	0.45	0.5817	0.5297	0.4877
G13	0.35	0.512	0.4188	0.3272
G14	0.35	0.4689	0.4298	0.3638
G15	0.2	0.245	0.244	0.2073

Fonte: KAVITHA *et al.* (2010).

⁸ ROI (*Region of Interest*): região de interesse.

Podemos notar que o método utilizado pelo *ROI based segmentation & Component Analysis Method for cup* em comparação com os outros métodos, obteve um resultado mais preciso. O artigo demonstra o potencial de aplicação dos algoritmos propostos em detectar glaucoma em suas fases iniciais. Os autores não relatam problemas encontrados no uso de sua abordagem.

Yu *et al.* (2005) descreve o problema da total automatização da análise do disco óptico por processamento da imagem da retina adquirida por meios de CSLT (*Confocal Scanning Laser Tomography*). Para superar as possíveis falhas no sistema são realizadas duas etapas. Na primeira, é utilizada a técnica de reconhecimento de padrões usando algoritmos de aprendizado de máquina como *Support Vector Machines* (SVM) e *Multilayer Perceptrons* (MLP). Esta tarefa classifica a imagem para analisar se a retina está afetada pela doença, baseado no reconhecimento da forma do nervo óptico. O objetivo é treinar os algoritmos de MLP e SVM para elevar sua taxa de acerto sobre os dados analisados e com isso demonstrar que ambos os algoritmos têm um resultado final semelhante na classificação da imagem. O máximo de precisão adquirida na análise de vários tipos de imagens para o treinamento desses dois algoritmos é uma taxa de 74% com MLP, e 87% para SVM em relação às imagens analisadas. Na fase seguinte é aplicado a rede de *Bayes* e filtro *Markov Blanket* para definir as características relevantes, selecionadas pelos algoritmos de aprendizado de máquina. Os resultados demonstram eficiência na abordagem de coleta do resultado. Do ponto de vista prático, demonstrou grande potencial na utilização dos métodos abordados, pois é uma alternativa viável para o diagnóstico com imagens da retina. No entanto, algoritmos do tipo de aprendizado de máquina são geralmente considerados precisos quando alcançam uma taxa de precisão superior a 95% e no caso descrito, o sistema pode obter no máximo 87% de precisão na análise da imagem através do uso do algoritmo de SVM.

2.2.1.2 Métodos de análise através de outros fatores

Jan *et al.* (2007) aborda uma técnica de fusão de imagem para diagnóstico, principalmente do glaucoma, mas também de outras doenças relacionadas à retina. Fusão é um processo pelo qual duas imagens se tornam apenas uma, com as características de suas informações realçadas, ou seja componentes da imagem importantes para o diagnóstico. Os autores usam dois tipos de imagem e estudam técnicas de fusão de imagens para obter um resultado mais preciso. A *scanning-laser-tomography* (SLT) é uma imagem baseada nos

princípios de um sistema de microscopia confocal⁹ usando um laser (visível ou infravermelho) como fonte de luz para coletar informações do escaneamento do olho. O outro tipo de imagem coletada é uma imagem colorida do fundo do olho adquirida usando basicamente uma câmera com iluminação por *flash*. Cada um desses métodos tem parte das informações necessárias para se fazer uma análise mais precisa. Então, essas duas imagens sofrem um processo de fusão, fornecendo assim, novas informações que antes não poderiam ser diagnosticadas separadamente. No entanto, há dificuldade para a fusão das imagens, visto que na imagem SLT qualquer movimento do olho durante o processo de escaneamento pode gerar distorções geométricas na captura da imagem, até mesmo em quadros individuais. O problema foi encontrar um critério de similaridade para a fusão adequada aos dois formatos de imagem sem perder nenhum detalhe, já que ambas possuem diferenças escalares e geométricas, tornando complicado o processo de registros de informações das duas formas de imagem. Na publicação, os autores mencionam que tratar este problema é uma meta, pois não houve uma abordagem satisfatória desse tipo concebida. Em consequência, por não existir uma abordagem definida, a ideia de diagnóstico do glaucoma através das imagens da retina, permaneceu com o método de detecção e avaliação semi-automática das zonas de interesse da retina, indicando maior concentração de um pigmento no disco óptico através de um laser azul. Além disso, imagens infravermelhas são analisadas paralelamente para facilitar a segmentação do disco óptico.

Ramanathan e Balaraman (2007) abordam técnicas de coleta de informações da imagem de ultrassom da retina. O algoritmo criado examina automaticamente as imagens com objetivo de diminuir o tempo de análise das técnicas, sem comprometer a precisão do resultado gerado. O método gera o diagnóstico através do exame de fluxo inadequado do fluido intra-ocular. Este fluxo inadequado pode cristalizar o fluido intra-ocular na córnea e nas regiões da íris, causando a obstrução de canais de drenagem do olho que provocam o aumento da pressão intra-ocular. Para calcular a quantidade de fluido cristalizado, é necessário identificar um ponto de referência para gerar o ângulo de análise desejado.

Portanto são desenvolvidos modelos de classificação e segmentação para localizar a região de interesse. As imagens adquiridas por meio de ultrassonografia possuem uma grande dificuldade para que seja realizada uma análise com precisão. (RAMANATHAN; BALARAMAM, 2007) A imagem que é gerada neste modo tem baixa resolução e fraco delineamento das bordas do disco e do cálice óptico. Assim, o método descrito por

⁹ Microscopia confocal oferece a possibilidade de se observar componentes estruturais de células e de tecidos vivos em tempo real. (SILVA; VELASCO, 2007)

Ramanathan e Balaraman (2007), exigiu o desenvolvimento de uma abordagem com três etapas para superar esses desafios.

A primeira etapa tem o propósito de melhorar o contraste, a resolução e a nitidez da imagem da retina. Envolve um histograma de equalização para realçar as características da imagem, prover limites de binarização para melhorar a resolução, remover ruídos para o melhoramento da detecção de bordas da imagem com o uso de mediana de filtro 2D e preencher as áreas com imperfeições existentes na imagem. A imagem de saída desta etapa se adapta à segmentação da imagem para a coleta apropriada das características de interesse e a segunda etapa realiza a segmentação da imagem já processada. Esta abordagem abrange um processo de classificação de diversas regiões da imagem, eliminação de regiões indesejadas e localização exata do ponto de referência para geração dos ângulos para informar se a pessoa possui ou não glaucoma. Mesmo a imagem estando com suas características reforçadas (vide a primeira etapa), há grandes chances de não ser possível encontrar o ponto de referência, levando o algoritmo a gerar resultados confusos. Todo o processo é feito através do uso de funções do MATLAB¹⁰ para o processamento da imagem. A terceira etapa concentra-se na análise precisa do ponto de referência para examinar se o olho está afetado pelo glaucoma. Isto envolve abordagem de mascaramento da região da retina que cria primitivas gráficas sobre a localização do ponto de referência com o interesse de limitar a região de análise. Logo após, o algoritmo faz uso de conceitos de geometria analítica para gerar formas geométricas na imagem. Produz cálculos de ângulos, se o resultado for maior que determinada angulação o paciente possui um olho saudável, caso contrário, o paciente possui um olho doente.

Conforme os autores, o algoritmo foi testado com várias imagens de ultrassom do olho e os recursos da imagem foram analisados corretamente em 97% dos casos. As dificuldades encontradas na medição dos parâmetros da imagem são causadas devido à má definição dos parâmetros a serem analisados, tal como, contraste extremamente baixo, resolução da imagem desfavorável e fraco delineamento de borda através das características presentes na imagem.

Acharya *et al.* (2011) desenvolve um novo método computacional para a detecção do glaucoma em sua fase inicial. Neste novo método utiliza a combinação de texturas e *higher order spectra* (HOS), são características presentes na imagem de fundo do olho. Muitos

¹⁰ MATLAB é um programa de computador de uso específico, otimizado para executar cálculos científicos e de engenharia. (CHAPMAN, 2006)

estudos foram feitos usando redes neurais¹¹. Os resultados mostram que usando modelos de redes neurais é capaz de detectar glaucoma com uma alta precisão, até 95%.

Os métodos quantitativos do glaucoma existentes até então não foram melhores do que a avaliação qualitativa do disco óptico conduzido por observadores experientes em distinguir olhos normais daqueles com leves indícios de presença da doença (glaucoma). (ACHARYA *et al.*, 2011, tradução nossa)

Desse modo, é relatado que a combinação de modelos de imagens pode melhorar significativamente essa capacidade de detecção da doença através de um *software*. Para a classificação das imagens são usadas três técnicas de redes neurais: *Linear SVM* e *SVM Gaussian*, respectivamente, um MLP, e a função discriminante linear. Mostra-se que estas análises por redes neurais ajudam no aumento da precisão no diagnóstico dos testes de glaucoma. O desempenho de uma rede neural treinada para reconhecer defeitos do campo visual é estudado e sua precisão de diagnóstico é comparada com a de outros algoritmos propostos para a detecção de perda de campo visual. Com o uso dessas técnicas atingiu-se um grau de precisão de 93%. O material usado para testes são imagens digitais capturadas com uma resolução de 560 x 720 *pixels* e armazenadas em formato JPEG¹², somando um total de 60 imagens, 30 delas de olhos saudáveis e as outras 30 com problemas relacionados ao glaucoma. Uma câmera de fundo de olho, juntamente com um microscópio e fonte de luz foram utilizados para adquirir as imagens da retina e diagnosticar retinopatia¹³, diabetes e glaucoma. Um comitê de ética, composto por médicos mais experientes, aprovou as imagens para este fim de pesquisa. Há uma etapa de pré-processamento da imagem que consiste em melhorar o contraste, usando um histograma de equalização. O histograma de equalização aumenta e atribui os valores de intensidade dos *pixels* na imagem de entrada, tal que a imagem de saída contém uma distribuição uniforme de intensidade e resulta em elevado contraste da imagem. A técnica proposta pode ser facilmente incorporada em infra-estruturas médicas existentes, tornando-se clinicamente uma opção viável. A precisão de classificação pode ser melhorada aumentando o número de imagens para o treinamento dos algoritmos, escolhendo melhores características, melhores classificadores e controlando as condições de

¹¹ Redes neurais são métodos da área de Inteligência Artificial que solucionam problemas computacionais a partir de resultados obtidos em um processo de aprendizagem. (HAYKIN, 1999)

¹² JPEG (*Joint Photographic Experts Group*), um tipo de arquivo gráfico utilizado.

¹³ Retinopatia é caracterizada por doenças de origem vascular e degenerativa que afetam a circulação sanguínea da retina. (HOUAISS, 2001)

iluminação durante a aquisição da imagem. A utilização de vários tipos de imagens digitais de olho normal e com glaucoma pode aumentar ainda mais a porcentagem de acerto.

3 MÉTODO PROPOSTO PELO *GLAUCOMA ANALYSER*

O *software Glaucoma Analyser* utiliza um método que está entre os métodos manuais e automáticos de avaliação da estrutura do disco óptico. Portanto, consideramos o novo método como semi-automático. Nossa proposta de método semi-automático segue os mesmos princípios da análise do método manual presente na literatura e descrito pelos médicos envolvidos no projeto. O objetivo do *software* é analisar a imagem semi-automaticamente, com o auxílio de um simples periférico de entrada do computador¹⁴: o mouse. Desta forma, o procedimento de diagnóstico do glaucoma torna-se mais prático e menos exaustivo. A localização dos limites do disco e do cálice óptico sendo feitos pelo médico especialista propicia uma interpretação mais confiável quando comparado à localização por *softwares* automatizados, conforme discutido no capítulo anterior.

O diagnóstico da estrutura do disco óptico é feito a fim de avaliar resultados da presença de glaucoma no paciente, tendo maior amparo na detecção da doença em suas fases iniciais. Como fator importante, é indicado que as pessoas façam um exame da retina com maior frequência. O mesmo paciente pode adquirir diferentes diagnósticos ao passar do tempo. Assim, o *software* pode ajudar a monitorar essas informações de forma mais otimizada se possibilitar a gravação de registros de cada paciente.

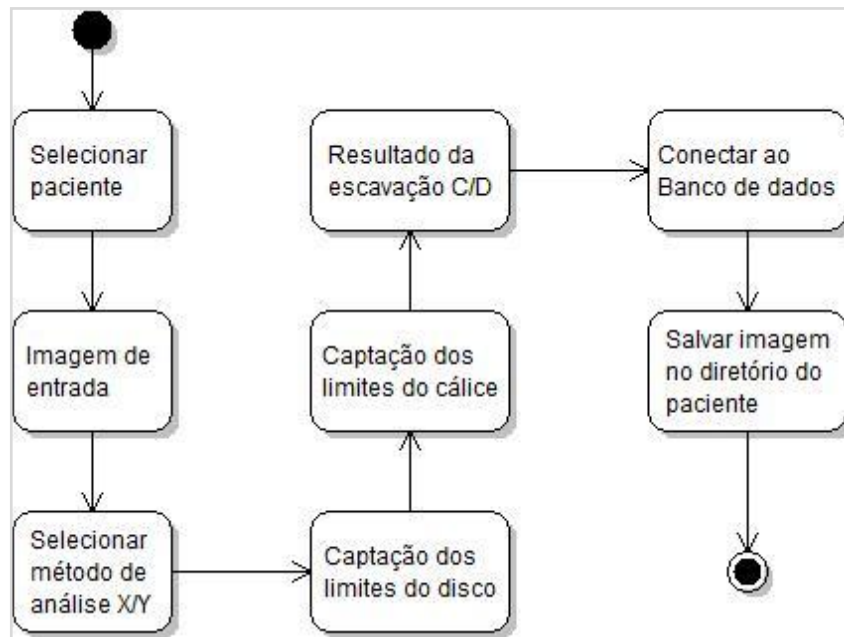
Com a importância de diagnosticar a doença o mais breve possível, são ínfimas as chances de que os pacientes examinados venham a ter problemas futuros devido à perda da visão. (ZHANG *et al.*, 2010)

Dessa forma, esperam-se resultados mais precisos para tratamento de alguns dos problemas existentes nos outros métodos apresentados. Um exemplo desta situação é quando o paciente tem outras doenças que podem gerar anormalidades na imagem da retina, dificultando a análise através de um método totalmente automatizado Zhang *et al.* (2010).

O sistema provê a automação de alguns processos do método manual, portanto uma aplicação extra desta abordagem está relacionada à otimização do gerenciamento de cadastros de pacientes no local onde o *software* é utilizado. Para o uso deste recurso se agrega ao sistema uma base de dados, visando documentar todos os diagnósticos gerados no local, viabilizando a recuperação de informações sobre qualquer paciente cadastrado no sistema, quando necessário. Na Figura 3.1 é possível visualizar o diagrama de atividades do *Glaucoma Analyser*, bem como o fluxo de execução.

¹⁴São considerados periféricos de entrada todos aqueles que enviam informação ao computador. Os principais periféricos de entrada são o mouse e teclado, utilizados pelo *Glaucoma Analyser*.

Figura 3.1 - diagrama de atividades do método semi-automático.



Fonte: FUGALI; WELFER (2012).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve materiais, métodos e pesquisas realizadas durante o processo de engenharia do *software*, tornando possível o desenvolvimento do mesmo.

Projetar e construir um programa de computador elegante que resolva o problema errado não serve às necessidades de ninguém. Essa é a razão por que é importante entender o que o cliente deseja antes de começar a projetar e construir um sistema baseado em computador. (PRESSMAN, 2010)

Neste contexto, as especificações recomendadas pela equipe médica envolvida no projeto foram tomadas como meta, com ênfase aos requisitos necessários e desejáveis a um sistema de exame da retina, descritos ao longo do capítulo.

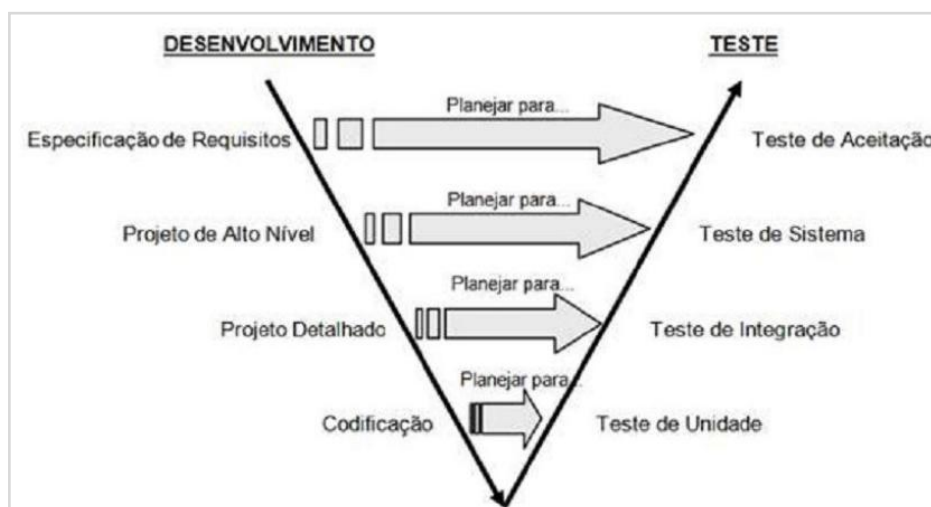
Conforme Pressman (2010), a implementação de um *software* utilizando um modelo prescritivo de processo¹⁵ é importante porque fornece estabilidade, controle e organização ao projeto. O autor ainda relata que para acomodar a natureza específica de cada projeto, os desenvolvedores devem adaptar o modelo prescritivo de processo escolhido. Como o *Glaucoma Analyser* é um *software* para uso na área oftalmológica, adaptamos o modelo prescritivo de processo denominado “modelo V” (*V-model*), pois segundo Rodrigues (2006) o modelo V descreve os tipos de teste para cada estágio de desenvolvimento de um *software* e possui, claramente, uma atividade de teste associada a cada atividade de desenvolvimento, sendo este um fator relevante para que o *software* seja satisfatório no auxílio do diagnóstico médico.

Molinari (2008) diz que hoje a maioria dos modelos prescritivos de processo conecta-se “graficamente” ao modelo V, que se tornou um dos mais populares no desenvolvimento de *software*. Descreve as fases individualmente em forma de “V”, letra escolhida por representar verificação e validação.

As atividades são ordenadas de forma seqüencial, em níveis de abstrações, de modo que as conexões com as fases de desenvolvimento ficam extremamente claras. (MOLINARI, 2008 p. 119) A Figura 4.1 demonstra o modelo V representado graficamente.

¹⁵ Modelos prescritivos de processos de *software* definem um conjunto distinto de atividades, ações e tarefas que são necessárias para fazer a engenharia do *software* com alta qualidade. (PRESSMAN, 2010)

Figura 4.1 – Modelo prescritivo de processo *V-model*.



Fonte: CRAIG;JASKIEL (2002).

Neste modelo são descritas de forma detalhada as etapas de desenvolvimento e teste. Para a etapa de desenvolvimento, há especificação de requisitos, projeto de alto nível, projeto detalhado, descritos nas próximas seções. Para a etapa de testes, o modelo descreve testes de unidade, integração, sistema, aceitação e regressão, que são especificados na seção 4.4.1.

Sommerville (2007) relata que a etapa de testes de um *software* é importante para descobrir falhas ou defeitos, além de demonstrar ao desenvolvedor e ao cliente que os requisitos estão sendo atendidos. Portanto, a implementação do *Glaucoma Analyser* foi de forma incremental, com a realização de testes a cada etapa e adição de complementos conforme os resultados. Também, novas restrições foram adicionadas conforme o *feedback*¹⁶ da equipe em cada versão do produto.

4.1 Especificação de requisitos

A especificação de requisitos descreve serviços que o sistema deve fornecer (SOMMERVILLE, 2007 p. 80). Os requisitos descrevem uma condição ou capacidade que o sistema deve possuir, podendo derivar das necessidades do usuário, de padrões, ou de necessidades de funcionamento do *software*. (MOLINARI, 2008)

A maior parte dos problemas encontrados em aplicações é originária da má elaboração dos requisitos, isto é, sejam eles elaborados de forma não clara ou incompletos, comprometem a qualidade do produto e consequentemente a satisfação do cliente. No entanto, gerenciar

¹⁶ *Feedback* significa retorno ou comentário. (LONGMAN, 2008)

requerimentos não é um mero processo que deve ficar para segundo plano. Num ambiente “ideal”, o aconselhável e correto é iniciar por ele um processo de implantação de gerência de qualidade de *software*. (MOLINARI, 2008).

No presente projeto definiu-se primeiramente a especificação dos requisitos de usuário com o detalhamento do método manual para ser adotado na proposta do método semi-automático de diagnóstico do glaucoma. Dessa maneira, tratamos com os médicos oftalmologistas como era dada a sequência de execução do protocolo do método manual de análise da estrutura do disco óptico.

Os requisitos de sistema de *software* são frequentemente, classificados em requisitos funcionais e requisitos não funcionais. (SOMMERVILLE, 2007 p. 80)

1. *Requisitos funcionais*. São declarações de serviços que o sistema deve oferecer. Como o sistema deve reagir com entradas específicas e como o sistema deve se comportar em determinadas situações. Os requisitos funcionais, também podem estabelecer explicitamente o que o sistema não deve fazer. (SOMMERVILLE, 2007; MOLINARI, 2008)

Abaixo são listados os requisitos funcionais identificados sobre o projeto do *Glaucoma Analyser*:

- O sistema deve realizar o diagnóstico semi-automático;
- O sistema deve gerar dez espaços entre os limites do disco óptico;
- O sistema deve gerar precisamente o resultado da escavação do nervo óptico;
- O sistema deve ter a opção de gerar primitivas gráficas bidimensionais na forma vertical ou horizontal;
- O médico especialista deve ser capaz de consultar informações na base de dados, a respeito de dados do paciente (*e.g.* nome, escavação, data de diagnóstico);
- Para cada paciente deve ser designado um identificador único, o qual o médico especialista deve ser capaz de relacioná-lo aos dados existentes na base de dados;
- Para cada diagnóstico em processo deve ser mostrado o nome do paciente que está em exame no momento;
- Quando o diagnóstico estiver em processo de geração de primitivas gráficas devem ser mostradas informações relevantes sobre o que está sendo

processado no momento, tais como: modelo de primitivas gráficas utilizadas, imagem salva, nível de escavação calculado.

2. *Requisitos não funcionais*. São restrições sobre os serviços ou as funções oferecidos pelo sistema. Eles incluem restrições de tempo, restrições sobre o processo de desenvolvimento e padrões. Os requisitos não funcionais aplicam-se frequentemente, ao sistema como um todo. Em geral, eles não se aplicam às características ou serviços individuais de sistema. (SOMMERVILLE, 2007)

Abaixo são listados os requisitos não funcionais identificados sobre o projeto do *Glaucoma Analyser*.

- O método semi-automático deve seguir o mesmo protocolo de diagnóstico manual;
- O sistema deve suportar qualquer tipo de arquivo gráfico (PNG, JPG, TIFF, etc);
- Tempo de resposta para o resultado da escavação não deve ultrapassar 5 segundos;
- Deve funcionar nos sistemas operacionais padrões da Policlínica (*Windows*);
- O sistema deve oferecer telas apropriadas para que o médico oftalmologista tenha acesso intuitivo sobre o mesmo, de modo que o usuário saiba manusear o programa apenas em uma hora de treino;
- Os dados devem ser armazenados no SGBD PostgreSQL¹⁷;
- A base de dados deve ser protegida para acesso apenas de usuários autorizados;
- Nome do paciente deve ser protegido de acesso desautorizado por questões éticas;
- Depois da leitura do documento que especifica as funções do sistema, os médicos especialistas devem ser capazes de utilizar essas funções sem necessitar de qualquer outra espécie de auxílio;
- O sistema deve ser capaz de importar e exportar arquivos gráficos;
- O sistema deve possuir características de usabilidade provendo acesso através de atalhos do teclado. Tais como, abrir imagem, fechar sistema, imprimir imagem, conexão com a base de dados, novo projeto.

¹⁷ PostgreSQL é um sistema gerenciador de banco de dados. (THE POSTGRES GLOBAL DEVELOPMENT GROUP, 2011)

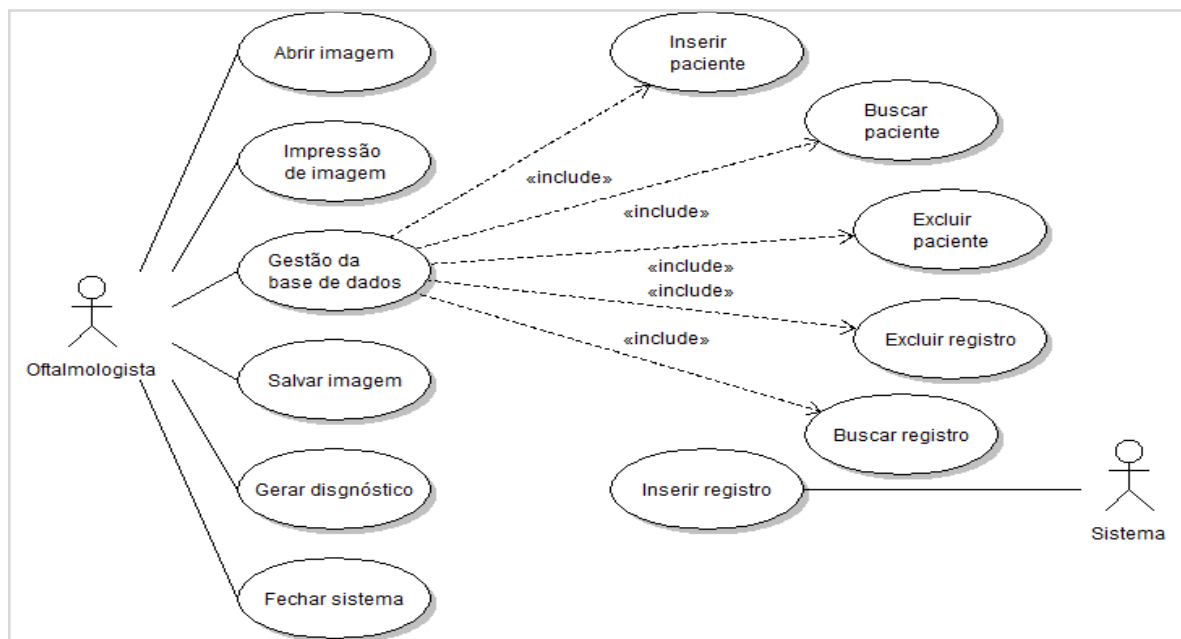
4.2 Projeto de alto nível

Projeto de alto nível tem por objetivo identificar e decompor o sistema em componentes e estabelecer um *framework*¹⁸ de controle e comunicação entre esses componentes. (SOMMERVILLE, 2007)

4.2.1 Caso de uso do *Glaucoma Analyser*

Constitui uma característica fundamental da notação de linguagem de modelagem unificada (UML) para descrição de modelos de sistemas orientados a objetos. Em sua forma mais simples, um caso de uso auxilia a identificar os componentes do sistema tal como tipo de interação e os agentes envolvidos (SOMMERVILLE, 2007 p. 103). A Figura 4.2 demonstra as interações individuais identificadas pelo diagrama de caso de uso do *software Glaucoma Analyser*.

Figura 4.2 - Diagrama de caso de uso do *Glaucoma Analyser*.



Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).

¹⁸ *Framework*, também chamado de arcabouço, é uma infra-estrutura do esqueleto de implementação específica para o trabalho de projetos, ou seja, uma “mini-arquitetura” reusável que fornece a estrutura e comportamento genéricos para uma família de abstrações de software, dentro de um contexto que especifica sua colaboração e uso em um determinado domínio. (PRESSMAN, 2010 *apud*. APPLETON)

Diagramas de sequência são demonstrados (Apêndice A) para representar cada classe de interação identificada por uma elipse, presente no diagrama de caso de uso acima.

4.2.2 Especificação das imagens

As imagens utilizadas para a geração de testes do sistema, visando o processo de verificação (detalhado na subseção 4.4.7) que é usado para prover qualidade na engenharia do *software* foram fornecidas pelo Hospital Santa Clara do Complexo Hospitalar Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre. Os exemplares enviados possuem uma alta resolução, aproximadamente 3000 x 2672 *pixels* e estão no formato TIFF¹⁹. Devido à necessidade de um maior número de imagens para realização dos testes, foram salvas imagens do DIARETDB1 (*Diabetic Retinopathy Database*)²⁰, um repositório finlandês público. A versão 2.1 deste banco de dados contém 89 imagens digitais do fundo do olho, cada imagem possui uma resolução de 1500 x 1152 no formato PNG²¹. Ambas as fontes consultadas não possuem identificação dos pacientes do local e são imagens com modelo de cores RGB²².

4.3 Projeto detalhado

Após o projeto de alto nível, desenvolve-se o projeto detalhado para os componentes identificados no projeto de alto nível.

4.3.1 Modelagem de requisitos

A modelagem de requisitos possui o objetivo de descrever o problema na forma sistemática. Essa sistematização é necessária devido à complexidade dos sistemas, exigindo maior atenção para entendimento do problema, antes do comprometimento de uma solução. Há importância de ter em mente que a definição de requisitos é algo fundamental para a construção do sistema proposto. Através da modelagem, parte central de todas as atividades que levam à implementação de um *software*, são definidos:

- Plataforma de programação;

¹⁹ TIFF – (*Tagged Image File Format*), um tipo de arquivo gráfico utilizado.

²⁰ DIARETDB1 (*Diabetic Retinopathy Database*), endereço web:
http://www2.it.lut.fi/project/imageret/diaretdb1_v2_1/.

²¹ PNG – (*Portable Network Graphics*), um tipo de arquivo gráfico utilizado.

²² RGB – (*Red Green Blue*), modelo de cores de uma imagem.

- Componentes e eventos da interface gráfica;
- Projeto do sistema;
- Controle dos periféricos;
- Primitivas gráficas bidimensionais;
- API²³ de processamento de imagem JAI²⁴;
- Documentação do diagnóstico com uso de SGBD.

Para representação do sistema através de notações gráficas é utilizada a UML²⁵, o diagrama de classes do sistema é demonstrado no Apêndice B. Este diagrama representa as principais classes que estão estruturadas no sistema junto com suas relações existentes. A seguir encontram-se as classes detalhadas:

- A classe *Main* verifica a quantidade de dias que o sistema está em execução, também verifica se existe alguma configuração predefinida sobre a base de dados, tal como usuário, senha e nome da base de dados. Após essa verificação, a classe *Main* instancia a classe *Retinal* que instancia vários componentes para a demonstração da interface presente no *Glaucoma Analyser*, é nela também onde a imagem é processada para criação das primitivas gráficas bidimensionais.
- A classe *Retinal* e *Database* implementam as interfaces *ActionListener*, *MouseListener* e *KeyListener*, para ser possível manipular eventos do mouse e teclado e criação de eventos para os componentes da interface.
- A classe *Database* torna possível o acesso à base de dados de forma que permita a gestão dos dados ali presentes.

4.3.2 Plataforma de programação

A plataforma de programação deve possuir a vantagem de não estar ligada a um único tipo de sistema operacional, ser compatível com diversos tipos de arquivos gráficos, ter ampla documentação e referências de uso da linguagem escolhida.

Programas orientados a objetos são frequentemente mais fáceis de entender, corrigir e modificar. Java é a linguagem de programação orientada a objetos mais amplamente utilizada no mundo. Java evoluiu do C++, que evoluiu do C. (DEITEL, H.; DEITEL, P., 2006, p. 06).

²³ API – *Application User Interface*.

²⁴ JAI – Java Advanced Imaging API de processamento de imagens Java.

²⁵ UML – Linguagem de modelagem unificada.

Portanto, ao verificar esses fatores foi escolhida a linguagem de programação Java, orientada a objetos para o desenvolvimento do projeto proposto.

Programas Java consistem em partes chamadas classes. As classes incluem partes chamadas métodos que realizam tarefas e retornam informações ao concluir sua execução. Os programadores podem criar cada parte do que precisam para formar programas Java. Entretanto, a maioria dos programadores Java tira proveito das ricas coleções de classes existentes nas bibliotecas Java, que também são conhecidas como APIs do Java ou Java APIs (*application user interface*). (DEITEL, H.; DEITEL, P., 2006, p.07)

Java é uma linguagem famosa por sua portabilidade. Qualquer sistema desenvolvido na linguagem de programação Java é capaz de ser executado em múltiplos sistemas operacionais. Seus programas rodam através de uma máquina virtual chamada JVM (*Java Virtual Machine*) que pode ser emulada em qualquer sistema operacional.

4.3.3 Interface gráfica para o usuário

A implementação de uma interface com características fundamentadas na usabilidade é primordial para promover o acesso autônomo dos usuários ao sistema. O *design* da interface envolve o tratamento de componentes gráficos e eventos que definem as funcionalidades do *software*. Os principais componentes de interface utilizados são: janelas, botões, áreas de texto, barra de ferramentas, barra de rolagem, barra de menus, painéis de opções de seleção de diretório, etc.

Eventos da interface gráfica auxiliam na execução de métodos e comandos definidos pelos componentes. Eventos de ação tratam do que é requisitado na interface executando um comando para o componente selecionado. Eventos da janela tratam dos botões de fechar, maximizar e minimizar, externos a interface do programa, executando algum comando específico para a prevenção de erros. Através do uso da linguagem escolhida junto com os componentes e eventos que ela nos fornece, é criada a interface gráfica para o usuário (GUI) que está estruturada da seguinte forma:

- Na parte superior da janela principal está localizado a barra de menus horizontais, apresenta ao medido oftalmologista os seguintes menus: o menu arquivo, menu ajuda e menu ferramentas.

- Menu arquivo possui itens que representam as mesmas funcionalidades dos botões presentes na barra de ferramentas.
- Menu ajuda possui os itens: sumário e sobre. Onde sumário invoca um método no sistema que permite a visualização de um documento tutorial (Apêndice C) que tem objetivo de ajudar o médico especialista a partir de dificuldades encontradas no uso do sistema desde as partes iniciais, incluindo instalação da JVM e JAI, até atividades mais complexas do mesmo.
- Menu Ferramentas onde existe o item de configuração da base de dados utilizada. Nesta configuração é necessário definir o endereço de rede da máquina hospedeira, nome da base de dados utilizado, nome de usuário que possui privilégios sobre o acesso à base de dados com sua respectiva senha.

- Ainda na parte superior da interface principal existe a barra de ferramentas onde contém os seguintes botões para a execução de funcionalidades presentes na implementação do sistema:

- Novo projeto, abrir imagem, salvar imagem, imprimir imagem e abrir conexão com a base de dados (Diagrama de sequência dessas funcionalidades podem ser vistos no Apêndice A),
- Duas opções de seleção do tipo de primitivas gráficas bidimensionais que serão utilizadas no diagnóstico, sendo elas opções de gerar retas horizontais ou retas verticais
- Campo de visualização de qual paciente está presente no diagnóstico que está sendo gerado no momento.

- Na parte central é onde a imagem de entrada será mostrada ao usuário possibilitando

- Criação das primitivas gráficas bidimensionais sobre a imagem.

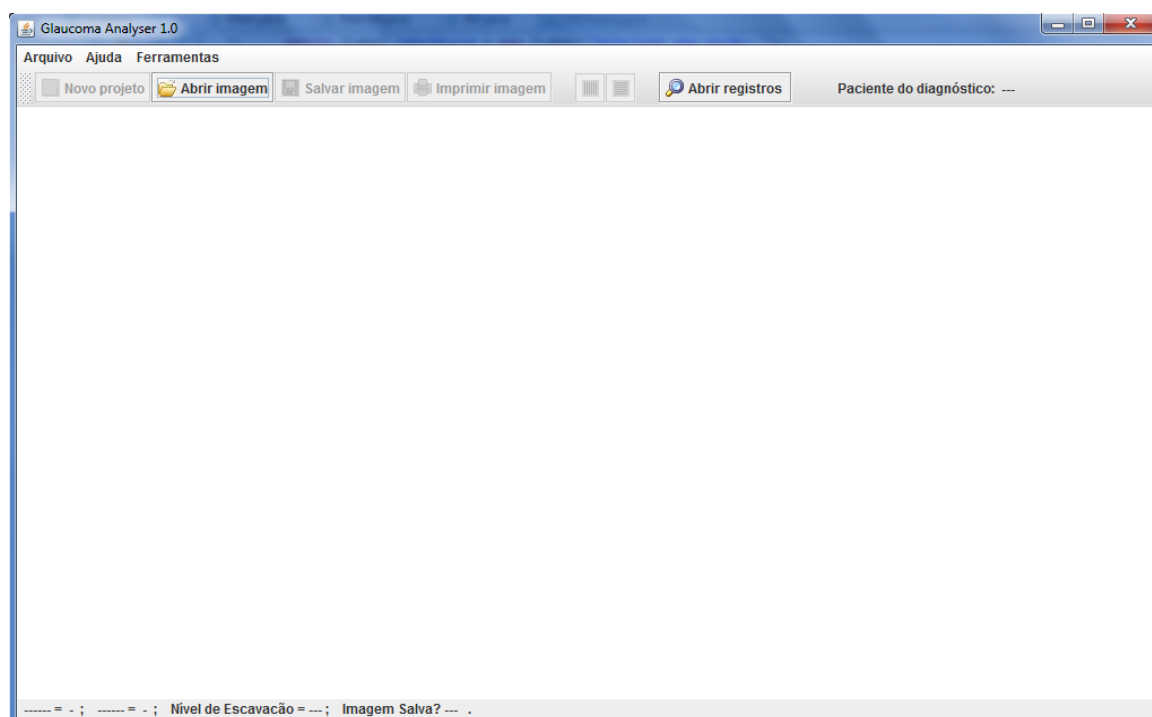
-Na parte inferior está localizada uma área de texto onde o sistema demonstra ao usuário informações relevantes de auxílio na execução do sistema. Nessa área é informado:

- O valor da distância entre os pixels selecionados;

- Se a imagem processada já está salva em algum local no disco rígido selecionado pelo médico;
- Valor da escavação da análise corrente.

A Figura 4.3 demonstra a interface funcional do sistema com seus componentes e eventos já implementados.

Figura 4.3 - Interface do *software* proposto.



Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).

4.3.4 Controle de periféricos

O sistema necessita do controle de alguns periféricos para ser feita a análise da imagem da retina, pois o método é semi-automático. Também, faz o uso de recursos para impressão se houver a necessidade de entrega do diagnóstico ao paciente, no final da consulta. Em especial, três periféricos são utilizados: mouse, teclado e impressora. Há métodos predefinidos em Java que operam para tais equipamentos. Para o mouse, existe a possibilidade de alterar os comandos predefinidos nos métodos. Por conhecimento disto, foram usados neste sistema os seguintes métodos relacionados ao mouse:

- *mouseClicked()* - método invocado quando o botão do mouse é clicado.
- *mousePressed()* - método invocado quando o botão do mouse é pressionado.

- *mouseDragged()* - método invocado quando o botão do mouse é pressionado e em seguida é arrastado.

Para o teclado, há métodos que possibilitam o uso de atalhos e funções, por meio das combinações de letras. Esse recurso aumenta a usabilidade do sistema, já que promove maneiras diferenciadas de acesso às funcionalidades do *software*. O sistema permite que o usuário escolha de que forma deseja trabalhar na interface. No sistema, os seguintes métodos do teclado são usados com relação às necessidades requeridas.

- *keyPressed()* - método invocado quando a tecla é pressionada.
- *keyReleased()* - método invocado quando a tecla é liberada.
- *keyTyped()* - método invocado somente quando é digitado um caractere.

Para a impressora, usa-se API *Java.awt.print* como ferramenta para tornar disponível no *software* um meio de imprimir a imagem processada. Fornece classes e interfaces para uma API de impressão geral (texto, imagem, figuras, etc.). A API inclui características tais como:

- Capacidade para especificar os tipos de documentos
- Mecanismos de controle de configuração de página e formatos de página
- Capacidade de gerenciar diálogos sobre o controle de trabalho

4.3.5 Primitivas gráficas bidimensionais

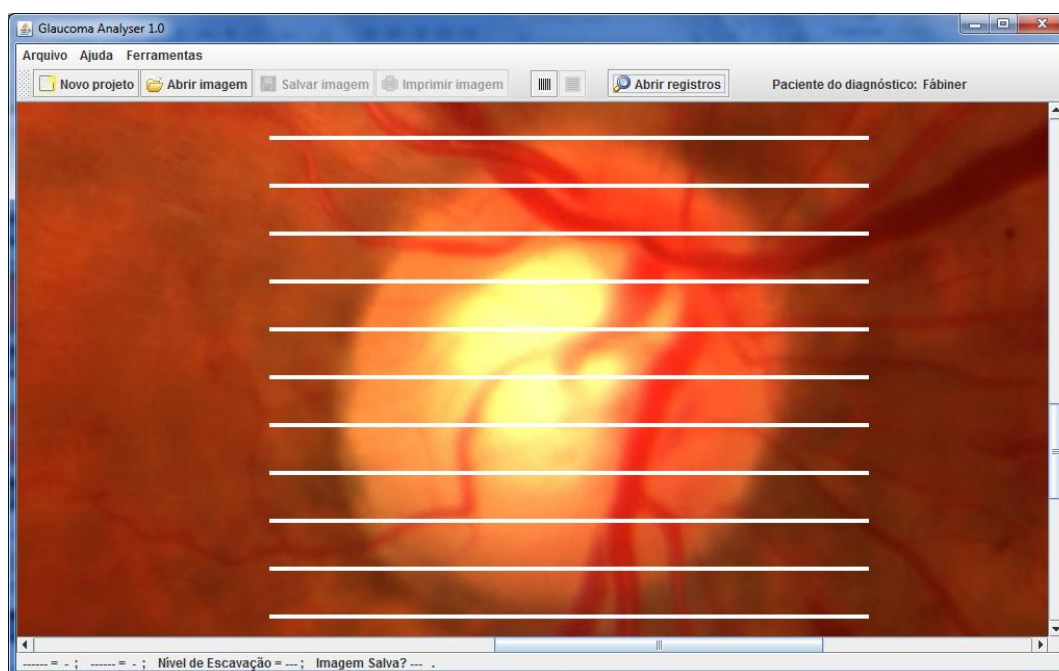
As primitivas gráficas bidimensionais são utilizadas para fazer as alterações necessárias na análise da imagem da retina. Deseja-se que a escavação do nervo óptico seja medida em escala de 0.0 a 1.0, já que a escavação será proporcional ao tamanho do disco. Essas definições variam de paciente para paciente, mas não interferem no diagnóstico da doença. O melhor método e forma gráfica para desenvolver as retas servirão para examinar o tamanho da escavação. Para isso, foi constatado que o modelo mais adequado ao método proposto foi o modelo gráfico retangular, ou seja, nada mais é que o uso de uma figura geométrica na forma de um retângulo.

Dessa forma, são capturadas com o mouse as coordenadas superiores e inferiores do disco óptico, formando um retângulo não visível na interface. O valor da distância entre essas coordenadas é dividido em dez partes iguais para mapear as distâncias entre as retas paralelamente traçadas devido à formação do retângulo. Foi necessário o uso de um vetor para guardar valores inteiros que serão as posições das retas paralelas, em *pixels*, gerados pelo

programa para mapear a região da imagem da retina e calcular a distância entre esses pontos. Após, ainda em operação com o mouse é selecionado os limites superior e inferior do cálice óptico para resultar na escavação do disco óptico da retina.

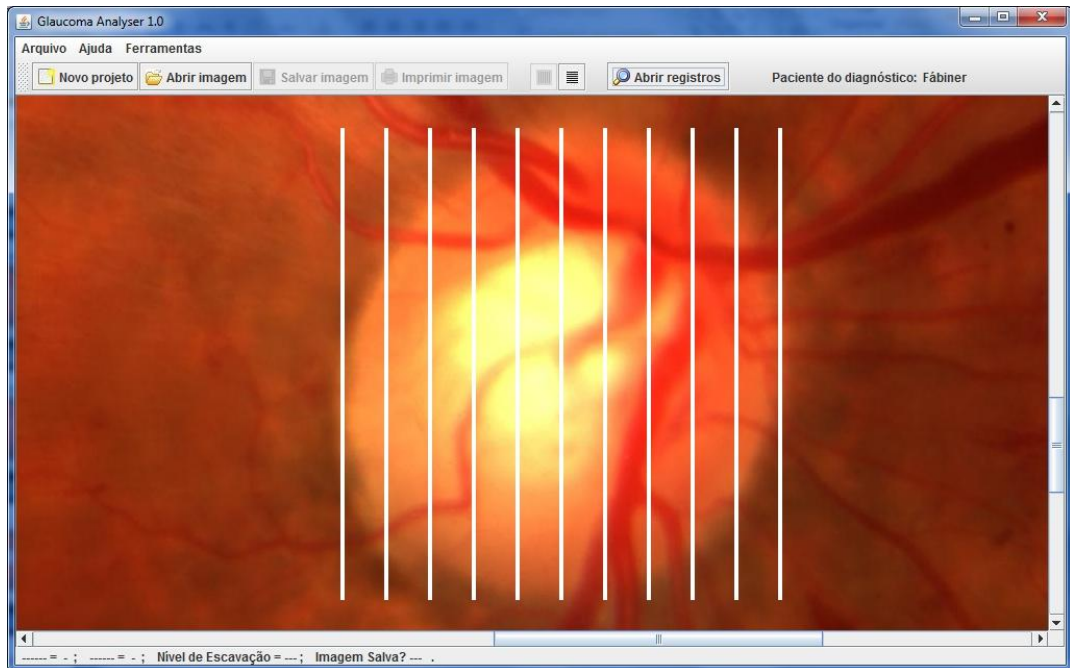
O sistema possui dois tipos de retas, horizontais ou verticais possíveis de serem geradas para sobrepor o disco óptico. Esse requisito foi implementado com o objetivo de suprir dificuldades da análise da imagem, pois a escavação pode crescer somente de forma horizontal ou vertical, fazendo com que o cálice óptico tome forma de uma elipse e não somente a forma de uma circunferência. Também se fazem necessários essas duas opções de retas por que o médico especialista pode encontrar problemas em analisar uma imagem que possua muitos vasos sanguíneos sobrepostos no cálice óptico de uma única forma. A Figura 4.4 e 4.5 demonstram a exemplificação desta funcionalidade.

Figura 4.4 - Geração de primitivas gráficas horizontais.



Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).

Figura 4.5 - Geração de primitivas gráficas verticais.



Fonte: FUGALI , F.;WELFER, D. (2012).

Note que nesta imagem utilizada existem estruturas vasculares que podem prejudicar a análise usando o método que gera primitivas gráficas verticais, pois estas primitivas gráficas estão sobrepostas nos limites do cálice óptico. Enquanto as mesmas estruturas vasculares não dificultam a análise com o uso de primitivas gráficas horizontais.

4.3.6 API Java Advanced Imaging

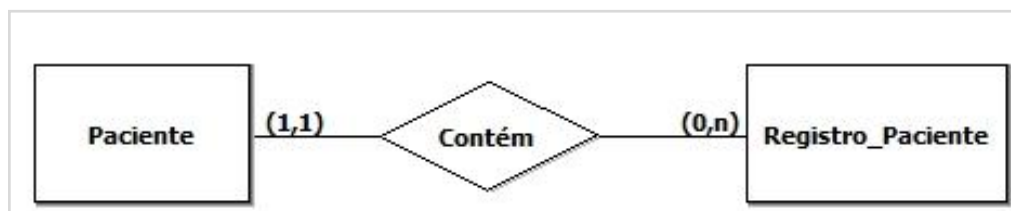
Visto que se faz necessário o uso de algumas técnicas de processamento de imagem e existindo a requisição de trabalhar com inúmeros formatos de arquivos gráficos, a API *Java Advanced Imaging* (JAI) é adequada para o bom desempenho do projeto. Possui um conjunto de interfaces orientadas a objetos que suportam um simples modelo de programação em alto nível, permitindo que imagens sejam manipuladas mais facilmente nas aplicações Java. JAI vai além da funcionalidade de uma API tradicional de processamento de imagem. Fornece uma alta estabilidade, independente do sistema operacional. Possui uma estrutura vasta para manipulação de vários formatos de imagem.

4.3.7 Documentação do diagnóstico

O *software* necessita manter os dados de diagnóstico do glaucoma de cada paciente, possibilitando a visualização para comparações de seus dados temporais. Java oferece uma API chamada JDBC (*Java Database Connection*) que conecta o programa a qualquer banco de dados relacional e envia instruções SQL através dessa ligação. As informações guardadas estarão relacionadas entre o nome do paciente, cadastro de pessoa física ou registro geral para chave primária, data do exame, imagem com a escavação e nível da escavação. O objetivo desta análise é documentar e verificar os avanços do tratamento no paciente, para sistema de gerenciamento de bases de dados foi utilizado o PostgreSQL. O modelo conceitual do sistema pode ser visto na figura 4.6.

O PostgreSQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) relacional. Possui código aberto e suporta uma grande parte do padrão SQL e oferece muitas características modernas: consultas complexas, chaves estrangeiras, triggers, entre outros. Por não necessitar licença para seu uso, o PostgreSQL pode ser usado e distribuído por qualquer pessoa gratuitamente para qualquer finalidade, seja privada, comercial ou acadêmica. (THE POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP, 2011)

Figura 4.6 - Diagrama entidade-relacionamento.



Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).

Existe a relação entre as tabelas denominadas respectivamente de tabela *Paciente* e tabela de *Registro_Paciente* (Apêndice D). Os registros cadastrados na tabela *Registro_Paciente* são somente armazenados pelo *software*, já que nesta tabela estarão registrados os resultados do diagnóstico, o que impede o especialista de inserir dados nesta tabela. No banco de dados será possível inserir, consultar, atualizar os dados somente na tabela *Paciente*, mas a exclusão de dados da tabela é possível de ser feita em ambas as tabelas.

Segue o modelo lógico da base de dados:

- Paciente

(**CodPaciente**, NomePaciente)

- Registros_Paciente
(**CodRegistro**, *CodPaciente*, Escavação, EndImagem, Data)

Legenda: **Chave primária**
 Chave estrangeira

4.4 Verificação e validação do sistema proposto

O objetivo principal do processo de verificação e validação é estabelecer confiança de que o sistema de *software* está ‘adequado ao seu propósito’. Isso significa que o sistema deve ser bom o suficiente para o uso pretendido. (SOMMERVILLE, 2007 p. 342)

Verificação prova que o produto vai ao encontro dos requerimentos especificados durante atividades executadas corretamente no desenvolvimento do produto, com objetivo de analisar se estamos criando corretamente o produto. Enquanto validação checa se o sistema vai ao encontro dos requerimentos do consumidor, com o objetivo de analisar se estamos criando o produto certo.

Na implementação do sistema, a verificação foi incorporada ao teste, pois foi realizado testes no momento de desenvolvimento do *Glaucoma Analyser*. Para verificar se o *software* estava executando todas as funções desejadas, foi utilizado algumas imagens relatadas na seção 4.2.2. O *software* foi observado durante sua execução para que não realizasse nenhuma anormalidade tendo sido testado em combinações com vários tipos de funções presentes no sistema. Em outras palavras, “todas as possibilidades, caminhos e funções devem estar mapeados, codificados e testados”. (MOLINARI, 2008 p. 23)

A validação é um processo mais geral do sistema proposto, vai além de verificar se o sistema está conforme sua especificação para mostrar que o *software* realiza o que o cliente espera que ele faça (SOMMERVILLE, 2007 p. 341). Portanto, no *Glaucoma Analyser* a validação foi feita pela equipe médica oftalmologista que trabalha em conjunto no projeto. Os detalhes dos resultados obtidos estão explanados no Capítulo 5.

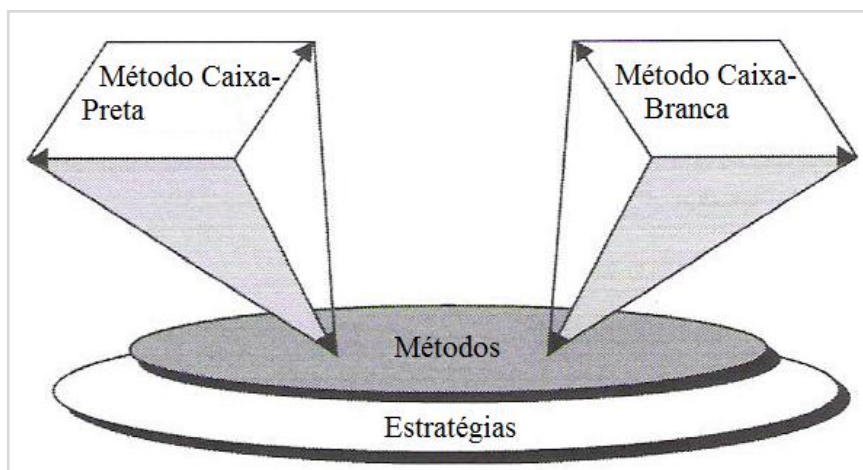
4.4.1 Testes de *software* realizados no *Glaucoma Analyser*

Os testes desta seção foram gerados antes da entrega do *software* para a equipe médica. Os testes de *software* são a mais popular estratégia de gerenciamento de risco. Podem

ser inspecionados de modo a garantir que todos os requerimentos sejam testados através de todas as combinações de entradas e estados do sistema. (MOLINARI, 2008 p. 28)

A partir do momento em que definimos as estratégias de testes, definimos os métodos que serão utilizados, em geral duas técnicas que mais se destacam no processo de teste, são o Método Caixa-Preta e Método Caixa-Branca, apresentadas na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Principais técnicas de teste de *software*.



Fonte: MOLINARI (2008 p. 158).

Segundo Molinari (2008), Teste de Caixa-Branca tem por objetivo testar o código. Os casos de teste devem ser feitos visando:

- Garantir que todos os caminhos independentes dentro de um módulo tenham sido exercitados pelo menos uma vez;
- Exercitar todas as decisões lógicas para valores *falsos* e *verdadeiros*;
- Executar todos seus laços dentro de seus limites operacionais;
- Exercitar as estruturas de dados internas para garantir a sua validade.

Molinari (2008) também define no objetivo do Teste Caixa-Preta: garantir que todos os requerimentos ou comportamentos da aplicação ou de um componente estejam corretos. O método concentra-se nos requisitos funcionais do *software*. Os Testes de Caixa-Preta procuram descobrir erros das seguintes categorias:

- Funções incorretas ou ausentes;
- Interfaces;
- Estruturas de dados ou acesso ao banco de dados externo;
- Desempenho;

- Inicialização e término.

A Tabela 4.1 descreve os tipos de testes utilizados a partir do modelo V.

Tabela 4.1 Tipos de testes do modelo V.

	Descrição
Teste de Unidade	Teste em nível de componente ou classe. É o teste cujo objetivo é testar um “pedaço do código”
Teste de Integração	Garante que um ou mais componentes combinados (ou unidades) funcionam corretamente
Teste de Sistema	A aplicação tem que funcionar como um todo. Neste momento a aplicação tem de “fazer aquilo que diz que faz”
Teste de Aceitação	Simulam operações de rotina do sistema de modo a verificar se seu comportamento está de acordo com o solicitado.

Fonte: MOLINARI (2008, p. 160)

Testes externos ao modelo V foram também utilizados, tais como: operacional, de interface, de estresse e de instalação. A seguinte Tabela 4.2 mostra as descrições desses tipos de testes.

Tabela 4.2 Tipos de testes externos ao modelo V.

	Descrição
Teste Operacional	Garante que a aplicação pode “rodar” muito tempo sem falhar.
Teste de Interface	Verifica se a navegabilidade e os objetos da tela funcionam corretamente, em conformidade com padrões em nível de interface.
Teste de Estresse	Testa a aplicação em situações inesperadas.
Teste de Instalação	Verifica se a instalação da aplicação (<i>hardware e software</i>) foi correta.

Fonte: MOLINARI (2008, p. 160).

4.4.1.1 Detalhamento de testes realizados

Detalhamento de resultados dos principais testes realizados a partir do modelo V :

- Teste de unidade
 - O método *mouse-dragged()*, que trata o movimento do mouse, apresentava atraso de movimento para geração das primitivas gráficas.
 - Ao testar as barras de rolagem da interface foi acusado um erro no momento de atualização da imagem mostrada no sistema.
 - Ao abrir uma imagem com uma resolução alta, havia um problema de alocação de memória do computador. Este problema simplesmente consumia todos os recursos de qualquer computador que estivesse em uso pelo *Glaucoma Analyser*.
 - Na gestão da base de dados ocorria problemas de compatibilidade entre a conexão do programa Java com a base de dados relacional do PostgreSQL.
- Teste de integração
 - As combinações possíveis de serem utilizadas devido às funcionalidades do programa foram exaustivamente testadas com o objetivo de encontrar erros inesperados. Um exemplo de sequência deste tipo de teste relacionado com o *software* pode percorrer as unidades e componentes na seguinte forma: abrir imagem, gerar primitivas gráficas com o mouse, conectar à base de dados, imprimir imagem, abrir tutorial de ajuda, entre outros.
- Teste de sistema
 - Após correção dos problemas encontrados no teste de unidade e de integração, o teste de sistema visa testar se a especificação de requisitos está sendo cumprida. Desta forma, após alguns testes com imagens de diferentes resoluções gráficas, concluímos que o *Glaucoma Analyser* estava satisfazendo os requisitos básicos.
- Teste de aceitação
 - Esses testes são feitos para observarmos se o *software* funciona conforme esperado. Simula algumas operações de rotina para verificar se todas elas funcionam corretamente, conforme dados de execuções

anteriores. O *Glaucoma Analyser* obteve um bom desempenho neste teste, pois reagiu conforme o esperado.

Detalhamento dos principais testes externos ao modelo V:

- Teste operacional
 - A aplicação foi executada para inúmeras criações de resultado da escavação através de imagens obtidas para realização dos testes. Com isso observou-se que o *software* ocupa somente a memória necessária para seu funcionamento independente do tempo que está em execução.

- Teste de interface
 - A interface foi criada para ser intuitiva e ter os componentes necessários para todas as funcionalidades que possam existir na janela do sistema. Testa-se a navegação através do *Glaucoma Analyser*, a partir dos objetos presentes na interface gráfica.

- Teste de estresse
 - Estes testes são realizados para verificar o funcionamento do programa através de entradas de dados não convencionais. Neste contexto, o *Glaucoma Analyser* recebeu como entrada arquivos de texto, multimídia e executáveis e o comportamento do software foi de exibição da mensagem “entrada inválida”.

- Teste de instalação
 - O programa foi instalado em sistemas Windows e Linux, buscando algum problema ou dificuldade de execução. Em ambos os sistemas operacionais se faz necessário ter a JVM instalada junto com a API JAI, vide mais detalhes no Apêndice C.
 - Para a base de dados PostgreSQL, existem instaladores para ambos os sistemas, tornando disponível o uso completo do programa para os sistemas operacionais Windows e Linux.

5 RESULTADOS

5.1 Testes da equipe médica

Em testes realizados para a validação do *Glaucoma Analyser*, os dados obtidos foram compilados pelos profissionais de saúde envolvidos no trabalho na policlínica Santa Clara, onde há vários casos de pacientes com glaucoma.

“Sobre o uso do sistema / sobre a facilidade de seu uso: extremamente fácil de usar. Oligofrênico. (...) Contribuição do sistema do ponto de vista clínico: torna a quantificação mais objetiva. Uma grande qualidade é a possibilidade do paciente visualizar o que está ocorrendo, entendendo e aderindo ao tratamento (poderíamos até ganhar um prêmio social de prevenção a cegueira).(...)” (informação verbal)²⁶

A equipe médica de oftalmologia também relatou que para a validação do sistema bastava apenas comparar a opinião do especialista do programa e analisar esses dados estatisticamente. Então, realizaram uma comparação estatística entre as medidas do programa e a opinião de um médico especialista em glaucoma, chamado de Teste t pareado (*t-paired*) bilateral, segundo a equipe médica, também conhecido como testes t para amostras relacionadas, uma vez que a mesma imagem é avaliada em dois momentos. A partir do teste pareado, foi também utilizado o teste de sensibilidade e especificidade.

A sensibilidade significa a probabilidade de um teste ser positivo, dado a existência da doença (ARIPPOL *et. al.*, 2006). Quanto mais sensível é o teste, maior a chance de ele encontrar pessoas verdadeiramente doentes. O resultado alcançado em relação à sensibilidade foi de 100%.

A especificidade é a probabilidade de um teste ser negativo, dado que não existe a doença (ARIPPOL *et. al.*, 2006). A avaliação obtida quanto à especificidade foi de 100%. Quanto à acurácia do sistema que resulta em 100%, significa que o *software* atingiu todos os valores desejados durante sua validação. (MOLINARI, 2008 p. 96)

Na tabela 5.1 é apresentada a fórmula utilizada para apuração da sensibilidade e especificidade, bem como o seu detalhamento. (WELFER, 2011)

²⁶ Informação da equipe médica envolvida no projeto, enviada por e-mail em 10 de outubro de 2011.

Tabela 5.1 – Fórmulas para o cálculo da sensibilidade e especificidade.

Fórmulas	Detalhamento
$Sensibilidade = \frac{TP}{(TP+FN)}$	TP, FN, TN e FP representam as ocorrências da doença em pacientes verdadeiramente positivos, falsamente negativos, verdadeiramente negativos e falsos positivos respectivamente. (WELFER, 2011)
$Especificidade = \frac{TN}{(TN+FP)}$	

Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).

O teste realizado pela equipe médica permitiu uma comparação entre os resultados obtidos do especialista em relação aos resultados do *Glaucoma Analyser*. Para esta comparação foram usadas 37 imagens de olhos saudáveis e glaucomatosos. A Tabela 5.2, criada pelos médicos especialistas, demonstra o resultado dessas imagens.

Tabela 5.2 Resultado parcial.

Nº da Imagem	Especialista	<i>Glaucoma Analyser</i>
1	0,9	0,7
2	0,8	0,7
3	0,4	0,4
4	0,3	0,5
5	0,7	0,6
6	0,8	0,6
7	0,4	0,4
8	0,5	0,5
9	0,3	Impossível
10	0,4	Impossível
11	não analisou	0,7
12	0,6	0,8
13	0,4	0,6
14	0,3	0,6
15	0,3	0,6

16	0,1	0,1
17	0,7	0,6
18	0,7	0,6
19	0,8	0,6
20	0,5	0,6
21	0,7	0,8
22	0,8	0,7
23	0,2	0,3
24	0,1	0,2
25	0,3	0,3
26	0,4	0,5
27	0,5	0,6
28	0,7	0,6
29	0,3	0,4
30	0,9	0,6
31	0,3	0,4
32	0,6	0,6
33	0,4	0,5
34	0,3	0,5
35	0,6	0,3
36	0,8	0,7
37	0,5	0,6

Fonte: Departamento de Oftalmologia da Policlínica Santa Clara, 2011.

Podemos observar que as imagens de número 9, 10 e 11 obtiveram problemas não relatados pela equipe médica, portanto os resultados gerados foram coletados a partir das 34 imagens que permitiram fazer um cálculo estatístico sobre seus dados. Estes resultados de comparação quanto à escavação e os demais podem ser vistos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Resultados gerais da validação para 34 imagens.

Descrição	Resultado
<i>Software</i> concorda exatamente com a opinião do especialista	18%
<i>Software versus</i> especialista com margem de acerto de 0,1 para mais ou para menos	51%
<i>Software versus</i> especialista com diferença de 0,3 para mais ou menos	9%
Sensibilidade	100%
Especificidade	100%
Acurácia	100%

Fonte: Departamento de Oftalmologia da Policlínica Santa Clara, 2011.

No Apêndice E é exposto o gráfico gerado pelos médicos, comparando o resultado do *software* com o resultado de análise de um médico especialista.

A Tabela 5.4 demonstra o resultado descrito pelos médicos em relação à diferença das médias obtidas do especialista versus *software*, constatando que não há diferença significativa entre as medidas. Desse modo, os avaliadores concluem que a diferença média de 0.0147 não é relevante entre a análise do especialista e do *software*. Portanto o *software* tende a obter uma precisão satisfatória no cálculo da escavação do nervo óptico e há indícios de invulnerabilidade a alguns erros, como no caso do paciente possuir doenças que também causam anormalidades na imagem da retina, já que o método semi-automático conta com a experiência e o conhecimento do método especialista.

Tabela 5.4 Resultados preliminares

	Especialista	<i>Software</i>
Imagens analisadas	34	34
Média	0.5176	0.5324

Fonte: Departamento de Oftalmologia da Policlínica Santa Clara, 2011.

5.2 Comparação entre os métodos existentes na literatura

Nesta seção é comparado o *Glaucoma Analyser*, método semi-automático, proposto neste trabalho, com os métodos automáticos conforme a revisão da literatura que analisam as imagens de fundo do olho através de diferentes algoritmos, relatados na subseção 2.2.1.

Para comparação, criamos uma tabela (Apêndice E) em que relacionamos os diferentes métodos e detalhamos a diferença entre os mesmos considerando como critérios o algoritmo, tipo de análise, porcentagem de sensibilidade e limitações da proposta. Na análise dos dados desta tabela (Apêndice E) podemos observar que todos os métodos possuem limitações e por isso, não há nenhum algoritmo totalmente satisfatório, em todos os aspectos.

Conforme Acharya *et al.* (2011) os métodos quantitativos do glaucoma existentes até então não foram melhores do que a avaliação qualitativa do disco óptico conduzido por observadores experientes em distinguir olhos normais daqueles com leves indícios de presença da doença. Neste contexto, o *Glaucoma Analyser* oferece uma boa proposta, já que busca sistematizar o processo de análise do glaucoma guiado por médicos especialistas, propondo maior confiabilidade nos resultados. No entanto, esta também pode ser considerada uma desvantagem do método, pois a presença de um especialista é indispensável para realização do diagnóstico, diferente dos demais sistemas que idealizam maior autonomia computacional.

Portanto, esclarecemos que esta comparação tem um caráter qualitativo, considera apenas o nível de sensibilidade e as principais limitações de cada método, porque uma comparação quantitativa poderia ter resultados subjetivos, considerando que muitos parâmetros podem estar ocultos na publicação de resultados de outros autores e estes, são relevantes para uma comparação geral com outros métodos, por exemplo: o número de imagens utilizadas, o grupo de pessoas que realizou os testes e até mesmo o tipo e qualidade das imagens, interferem de forma significativa nos resultados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No estudo de trabalhos relacionados ao tema percebeu-se a necessidade de desenvolver um *software* que permitisse a análise semi-automática de quantificação do glaucoma. O *software* desenvolvido neste projeto, chamado *Glaucoma Analyser*, tem como base a sistematização do método de diagnóstico manual da imagem da retina. Desta forma, o disco óptico é dividido em dez partes iguais para que seja possível gerar a razão entre o cálice e o disco óptico, resultando na escavação do disco óptico. O *Glaucoma Analyser* foi testado com 34 imagens da retina por médicos especializados na doença, tendo um resultado satisfatório conforme os dados relatados no Capítulo 5. O *software* tem um valor prático considerável e pode ser usado como ferramenta auxiliar, já que o método evoluiu a forma de análise do glaucoma recentemente praticada nas clínicas de oftalmologia. Com o sistema em uma versão estável, também é possível que o paciente adquira conhecimento sobre seu diagnóstico do glaucoma no formato de uma imagem impressa com as linhas de escavação. Sem o uso de um *software* de diagnóstico do glaucoma, o processo de análise é totalmente manual (impressão em papel, uso de materiais métricos *e.g* régua e calcular por si a escavação) podendo causar erros no resultado, além de ser um processo exaustivo para os médicos.

6.1 Trabalhos futuros

Assim, pretende-se dar continuidade ao projeto, aprimorando o *software* para que suas atuais características sejam realçadas e em paralelo ao diagnóstico semi-automático também seja disponibilizada a funcionalidade de diagnóstico automatizado, através do desenvolvimento de um novo método para processamento da imagem do fundo de olho, tornando-o mais completo para as áreas de interesse.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, U. R. et al. **Automated diagnosis of glaucoma using texture and higher order spectra features**. In: IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 15, No. 3, May 2011.
- ARIPPOL, Patrícia Katayama Kjaer; SALOMAO, Solange Rios; BELFORT JR., Rubens. **Método computadorizado para medida da acuidade visual**. *Arq. Bras. Oftalmol.* [online]. 2006, vol.69, n.6, pp. 907-914. ISSN 0004-2749. <http://dx.doi.org/10.1590/S0004-27492006000600021>.
- AUMONT, Jacques. **A imagem**. 13. ed. São Paulo: Papirus, 2008. (Ofício de arte e forma).
- CHAPMAN, S. J.. **Programação em Matlab para engenheiros**. 1. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2006.
- CRAIG, R.D.; JASKIEL, S. P.. **Systematic Software Testing**. Boston: Artech House, 2002.
- DEITEL, H.; DEITEL, P.. **Java: Como Programar**. 6. ed. [S.l.]: Prentice-Hall, 2005. 1152 p.
- FERREIRA, Aurélio. **Miniaurélio Eletrônico**. 7. ed. [S.l.]: Positivo Informática, 2004. 1 CD-ROM.
- FUGALI, F.; WELFER, D.. **Software para quantificação do glaucoma usando imagens coloridas do fundo de olho**. 2012. 80 f. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Pampa (Unipampa), Campus Alegrete, 2012.
- HAYKIN, Simon. **Redes neurais**. 2. ed. São Paulo: Laser House, 1999.
- HATANAKA, Marcelo; VESSANI, Roberto Murad. **Glaucoma**. In: LOPES, Antonio Carlos (Comp.). *Diagnóstico e tratamento*, 1. ed. Barueri: Manole, 2006. Cap. 10, p. 585-589.
- JAN, J. et al. **Analysis of fused ophthalmologic image data**. 6th ed. In: EURASIP Conference Focused on Speech and Image Processing, Multimedia Communications and Services, pp. 33-36, 27-30, June 2007.

KAVITHA, S.; KARTHIKEYAN, S.; DURAISWAMY, K.. **Early Detection of Glaucoma in Retinal Images Using Cup to Disc Ratio**. In: Second International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, 30 September 2010.

LEE, Sangyeol; D. ABR'AMOFF, Michael; REINHARDT, Joseph M. **Validation of retinal image registration algorithms by a projective imaging distortion model**. In: Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS. Cité Internationale, Lyon, France. August 23-26, 2007.

LEITE, Mauro Toledo; SAKATA, Lisandro Massanori; MEDEIROS, Felipe Andrade. **Managing glaucoma in developing countries**. *Arq. Bras. Oftalmol.* [online]. 2011, vol.74, n.2, pp. 83-84. ISSN 0004-2749. <http://dx.doi.org/10.1590/S0004-27492011000200001>.

LOEWEN, Nils; TANNA, Angelo. **Glaucoma risk factors: intraocular pressure**. In: The glaucoma book: a practical, evidence-based approach to patient care. [S.l.]: Springer, 2010.

LONGMAN. **Longman Dicionário escolar: inglês-português português-inglês**. 2. ed. [S.l.]: Longman do Brasil, 2008.

LIM, Ridia; GOLDBERG, Ivan. **Glaucoma in the twenty-first century**. In: The glaucoma book: a practical, evidence-based approach to patient care. [S.l.]: Springer, 2010.

HOUAISS, A.. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. [S.l.]: Editora Objetiva Ltda, 2001.

MOLINARI, Leonardo. **Testes de software: produzindo sistemas melhores e mais confiáveis**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2008. 228 p.

PRESSMAN, Roger S. Engenharia de software. 6. ed. São Paulo: AMGH, 2010.

QUIGLEY, HA; BROMAN, AT. **The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020**. *Br J Ophthalmol.* 2006; 90(3):262-7. Comment in: *Brit J Ophthalmol.* 2006; 90(3):253-4.

RAMANATHAN, S.; BALARAMAN, R.. **Automatic detection of accretion of glaucoma in eye**. In: Systems, Signals and Image Processing. 6th ed. EURASIP Conference focused on Speech and Image Processing, Multimedia Communications and Services. IEEE Conference Proceedings, pp. 441-449, 27-30, June 2007.

RODRIGUES, Luiz. **Um modelo de avaliação de requisitos no processo de desenvolvimento de software**. Dissertação (Mestrado em Computação) - Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Instituto de Computação. Campinas, 2006.
SILVA, Fabiano Pinheiro da; VELASCO, Irineu Tadeu. **Sepse**. 1. ed. São Paulo: Manole Ltda., 2007.

SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de software**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2007. 552 p.

THE POSTGRESQL GLOBAL DEVELOPMENT GROUP. **Postgresql documentation**. Versão 9.1.2. , 2011. Disponível em:
<<http://http://www.postgresql.org/docs/9.1/static/index.html>>. Acessado em: 07 jan. 2012.

WELFER, D.. **Padrões de projeto no desenvolvimento de sistemas de processamento de imagens**. 2005. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2005.

_____. **Métodos computacionais para identificar automaticamente estruturas da retina e quantificar a severidade do edema macular diabético em imagens de fundo do olho**. 2011. 91 f. Tese (Doutorado em Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) Porto Alegre, 2011.

WONG, D. et al. **Level-set based automatic cup-to-disc ratio determination using retinal fundus images in argali**. In 30th Annual International Conference of the IEEE, pp. 2266-2269, 20-24 August 2008.

YU, J.; ABIBI, S. S. R.; ARTES, P. H.. **A hybrid feature to selection strategy for image defining features: towards interpretation of optic nerve**. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou, 18-21 August 2005.

ZHANG, Zhuo. et al. **Optic disc region of interest localization in fundus image for glaucoma detection in argali**. In: 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, vol., no., pp.1686-1689, 15-17, June 2010.

BIBLIOGRAFIA

SAFFIAN, Mohd Imran Mohd. **Retinal image processing**. Relatório técnico da Universidade de Manchester, April 2009.

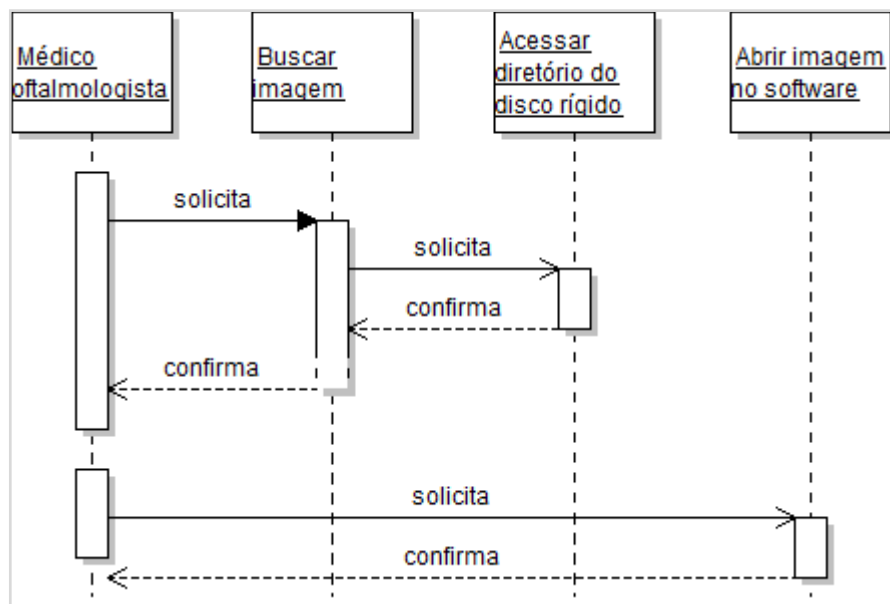
SONG, X.; SONG, K.; CHEN, Y.. **A Computer-based diagnosis system for early glaucoma screening**. In: Proceedings of the 2005 IEEE. Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference Shanghai, China, 1-4 September 2005.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Interações do sistema através de diagramas de sequência utilizados para representar cada classe de interação do diagrama de caso de uso.

Interações do sistema para abrir imagem.

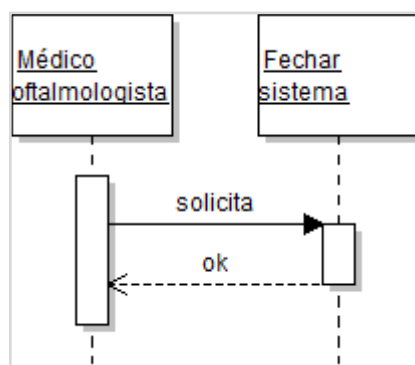
Figura A.1 - Diagrama de sequência para abrir imagem.



Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).

Interações do sistema para fechar sistema.

Figura A.2 - Diagrama de sequência para fechar sistema.



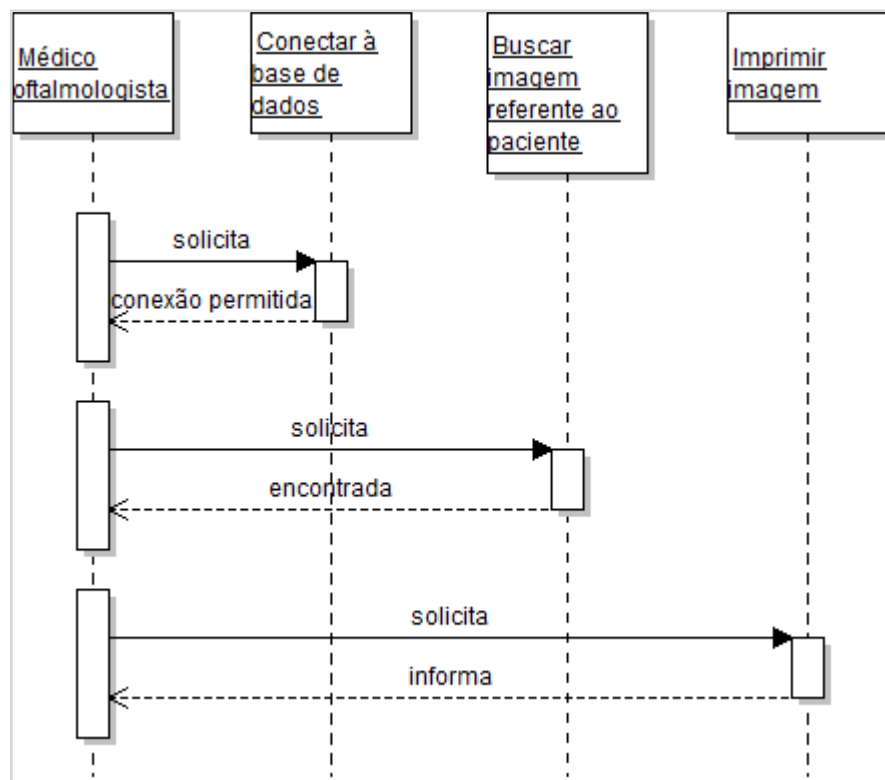
Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).

APÊNDICE

APÊNDICE A – Interações do sistema através de diagramas de sequência utilizados para representar cada classe de interação do diagrama de caso de uso.

Interações do sistema para imprimir imagem.

Figura A.3 - Diagrama de sequência para imprimir imagem.



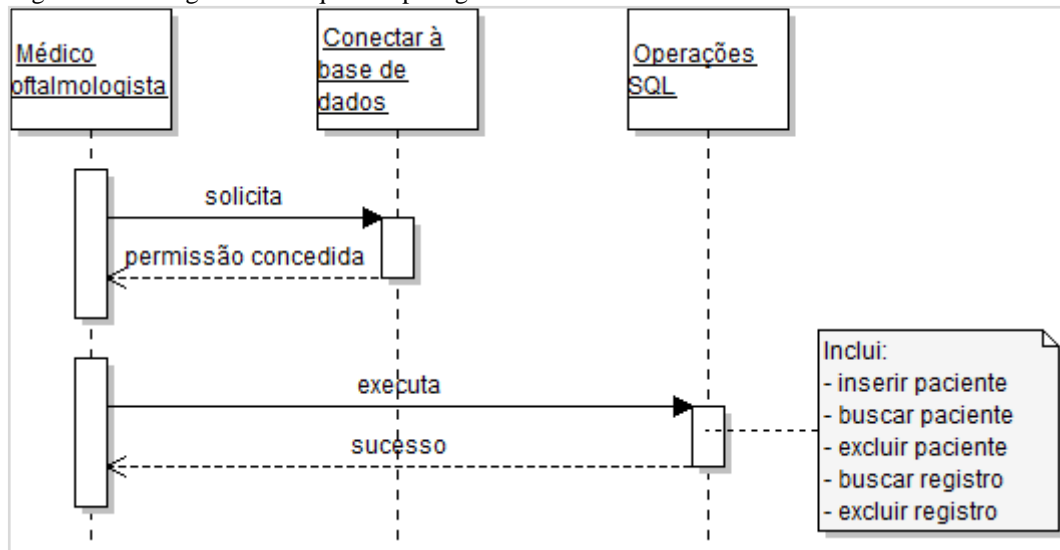
Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).

APÊNDICE

APÊNDICE A – Interações do sistema através de diagramas de sequência utilizados para representar cada classe de interação do diagrama de caso de uso.

Interações do sistema para gestão da base de dados.

Figura A.4 - Diagrama de sequência para gestão da base de dados.



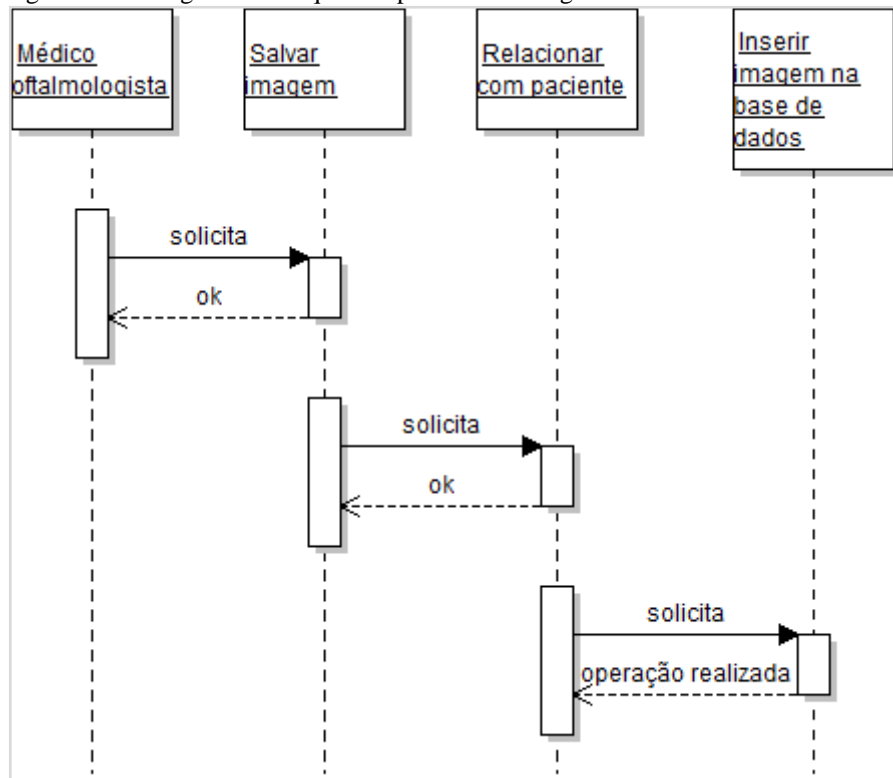
Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).

APÊNDICE

APÊNDICE A – Interações do sistema através de diagramas de sequência utilizados para representar cada classe de interação do diagrama de caso de uso.

Interações do sistema para salvar imagem.

Figura A.5 - Diagrama de sequência para salvar imagem.



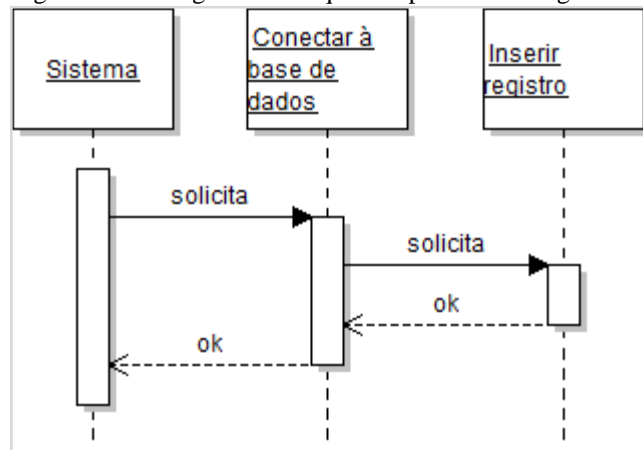
Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).

APÊNDICE

APÊNDICE A – Interações do sistema através de diagramas de sequência utilizados para representar cada classe de interação do diagrama de caso de uso.

Interações do sistema para inserir registros de diagnósticos de pacientes.

Figura A.6 – Diagrama de sequência para inserir registros.

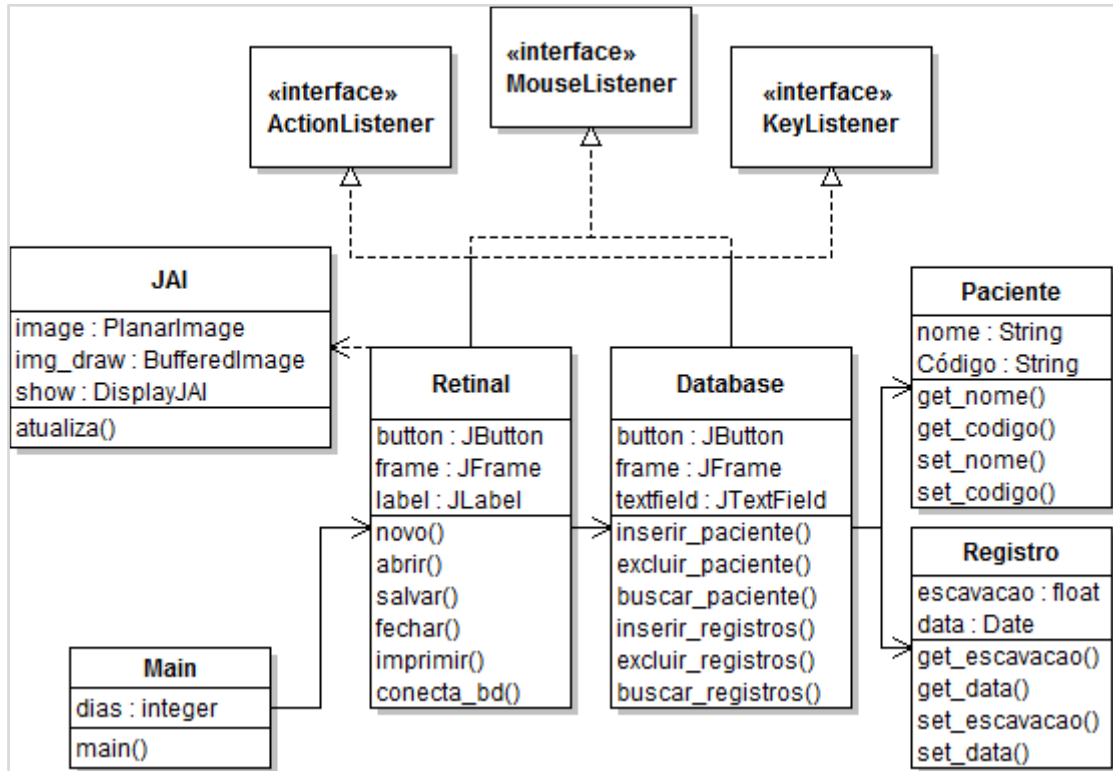


Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).

APÊNDICE

APÊNDICE B – Diagrama de classes UML

Figura B.1 - Diagrama de classes do *Glaucoma Analyser*



Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).

APÊNDICE

APÊNDICE C - Tutorial de ajuda ao usuário disponível no menu ajuda.

1 INSTALAÇÃO JAVA

1.1 Instalação Java e JAI 32bits

Requisitos mínimos

Sugestão de link para download (O link pode estar desatualizado)

Siga a ordem de instalação ou podem existir problemas.

- 1 – Java
http://www.java.com/pt_BR/download/
- 2 - Java Runtime Environment - (JRE)
<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html>
- 3 - Java Advanced Imaging - JAI JRE
http://java.sun.com/products/java-media/jai/downloads/download-1_1_3.html

Arquivos JAI necessários disponível no diretório do programa em:

`./Retinal Program/JAI/jai-1_1_3-alpha-lib-windows-i586`
`./Retinal Program/JAI/jai-1_1_3-alpha-lib-windows-i586-jre`

OBSERVAÇÕES:

- Não *delete* e nem mude de localidade os arquivos listados nesta pasta.
- Se você já processou uma imagem e deseja abrir uma nova imagem não se esqueça de clicar em "Novo Projeto".
- Opção de "Imprimir Imagem" está funcionando no *software*.

1.2 Instalando a JAI no Windows 64 bits

- 1 - Instale o Java 64bits para o Windows
- 2 - Instale no seu sistema somente o arquivo com o nome de : jai-1_1_3-alpha-lib-windows-i586 contido na pasta JAI_1_1_3 32bits.

(lembrando que ao tentar instalar o outro arquivo contido nesta mesma pasta irá ocorrer um erro de instalação)

Dando sequência...

- 3 - Abra o diretório onde foi instalado o jai-1_1_3-alpha-lib-windows-i586. Localizado no disco em <C:\jai_1_1_3-alpha\lib> criado após a instalação correta do arquivo mencionado primeiramente e copie os arquivos com o nome de jai_codec e jai_core.

Depois de feito isso.

- 4 - Abra o diretório do disco em <C:\Arquivos de Programas\Java\jre6\lib\ext> e cole os dois arquivos jai_codec e Jai_core, copiados anteriormente.

APÊNDICE

APÊNDICE C - Tutorial de ajuda ao usuário disponível no menu ajuda.

2 INSTAÇÃO DO POSTGRESQL NO WINDOWS

Link para instalação no Windows 32bits

<http://www.enterprisedb.com/postgresql-911-installers-win32?ls=Crossover&type=Crossover>

Link para instalação no Windows 64bits

<http://www.enterprisedb.com/postgresql-911-installers-win64?ls=Crossover&type=Crossover>

Após concluído o download clique no executável baixado

Então haverá as seguintes etapas:

- 1 - Setup - PostgreSQL
Clique em [next]
- 2 - Installation Directory
Deixe o diretório default e clique em [next]
- 3 - Data Directory
Deixe o diretório default e clique em [next]
- 4 - Password
Defina uma senha para seu usuário postgres. Aconselho definir como 123, mas pode ser trocado sem problemas. Clique em [next]
- 5 - Port
Deixe a que está selecionada e clique em [next]
- 6 - Advanced Options
Clique em [next]
- 7 - Ready to Install
Clique em [next]

Após todos os itens anteriores estiverem devidamente instalados seu sistema irá funcionar corretamente com o uso do banco de dados.

2.1 Configurando o banco de dados através do programa em execução

Siga a ordem de execução das seguintes etapas.

- 1 – Abra o programa
- 2 – Clique no menu Ferramentas
- 3 – Clique no item do menu Configurar banco de dados
- 4 – Adicione as configurações que ali estão em branco
Host [localhost]

APÊNDICE

APÊNDICE C - Tutorial de ajuda ao usuário disponível no menu ajuda.

BD [clinica]
Usuário [postgres]
Senha [123]

Tome o que está entre colchetes como uma dica do que colocar no campo de texto

- O Host sempre será localhost
- O usuário sempre será postgres
- A senha você que você definiu na instalação do banco de dados, é esta que você precisa inserir no campo de texto da senha.
-
- 5 – Clique em Testa para testar a conexão
- 6 – Clique em Salvar, que salva a conexão no programa para que outras vezes que você for usar o programa. Ele já tenha as configurações do banco de dados.

Após toda configuração, seu programa estará funcionando com todos os recursos gerados.

3 INSTRUÇÕES DE USO

3.1 Operação básica do *Glaucoma Analyser*

Passo 1 - Abra o programa somente pelo arquivo chamado Windows.exe, lembrando nunca clicar no Retinal, pois pode causar erros na execução.

Passo 2 - Clique em "Abrir Imagem" e escolha, em qualquer diretório do computador, a imagem que deseja processar no programa.

Passo 3 – Você pode escolher que tipo de medida deseja realizar, existem os botões de medidas horizontais e verticais na interface principal do programa.

Passo 4 – Após escolher o tipo de medida. Clique e arraste o mouse sobre a imagem para gerar as linhas de escavação do disco começando na parte inferior e arrastando até a parte superior ou vice-versa.

Passo 5 - Clique nas retas criadas a partir do passo 4 que estão no limite inferior e superior do cálice óptico ou vice-versa.

3.2 Manipulando a base de dados

Passo 1 – Com a configuração do banco já feita. Clique em Abrir registros.

Passo 2 – Existem 3 abas de diferentes operações. Buscar, Adicionar e Excluir.

- Se o paciente não está cadastrado na base de dados. Selecione a opção **Adicionar**. Então adicione o seu RG e seu nome. Clique em adicionar. Automaticamente o paciente já entra para análise do *software*. Tudo que você fizer estará relacionado a este paciente. Existe um campo de texto na interface principal do programa que mostra qual é o paciente que está relacionado naquela consulta do momento.

APÊNDICE

APÊNDICE C - Tutorial de ajuda ao usuário disponível no menu ajuda.

- Se o paciente já está cadastrado no banco de dados. Apenas busque-o na aba **Buscar**. Selecione a opção **Informações de pacientes** e então digite seu RG. Clique em **Buscar**. Automaticamente o paciente entra para análise do *software* e tudo que você fizer no *software* estará relacionado a este paciente.
- Na aba **Excluir** você pode excluir pacientes e registros de pacientes. Tome cuidado com essa opção. Uma vez excluído os dados não podem ser recuperados.
- Excluindo um paciente: digite seu RG e clique em **Pacientes**. Abrirá outra janela para confirmação da exclusão. **IMPORTANTE** excluindo o paciente você automaticamente estará excluindo todos os registros ligados àquele paciente.
- Excluindo registros: Digite o RG do paciente que você deseja excluir os registros e clique em **Diagnósticos**. Então aparecerão os registros daquele paciente. Você com o mouse pode selecionar qual deseja excluir. Depois de selecionado clique em **Excluir**.

4 SUPORTE E CONTATO

Universidade Federal do Pampa
Campus Alegrete
Av. Tiarajú, Nº - 810
Alegrete - RS – Brasil
Tel.: +55 (55) 3422 – 8400
Autor: Fábio Fugali
E-mail: fabiner@gmail.com

APÊNDICE

APÊNDICE D - Tabelas da base de dados

Paciente

Nome do campo	Tipo de dados	Descrição
CodPaciente	Integer	Identificador único do paciente
NomePaciente	String	Nome do paciente

Registro_Paciente

Nome do campo	Tipo de dados	Descrição
CodRegistro	Integer	Identificador único do registro
<i>CodPaciente</i>	Integer	Indica o paciente da relação
Escavação	Float	Resultado da escavação
EndImagem	String	Diretório da imagem no disco rígido
Data	Date	Data da criação do diagnóstico

Legenda

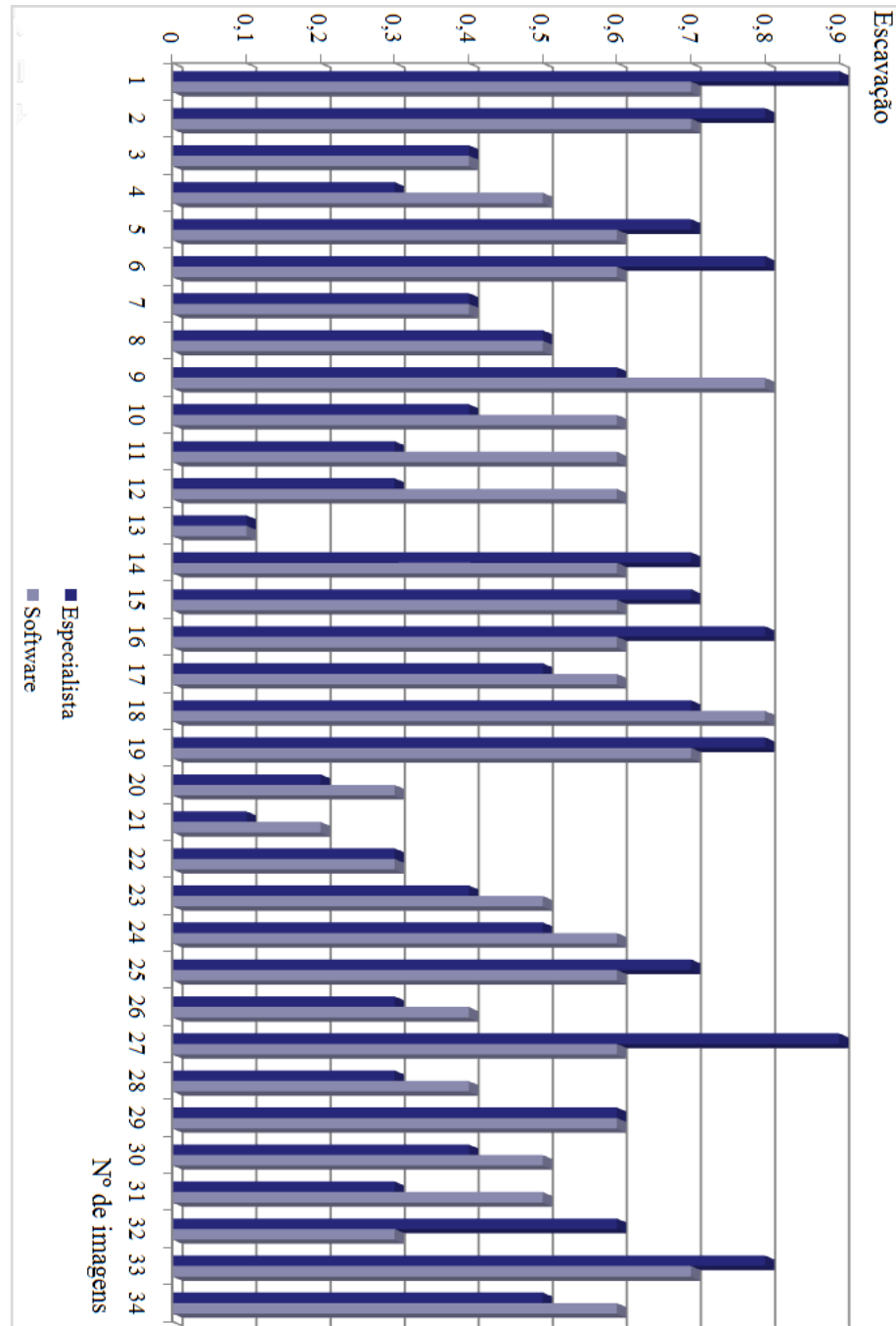
Chave-primária

Chave-estrangeira

APÊNDICE

APÊNDICE E – Dados obtidos a partir dos resultados

Figura E.1 – Gráfico para comparação de resultados.



Fonte: Departamento de Oftalmologia da Policlínica Santa Clara, 2011.

APÊNDICE

APÊNDICE E – Dados obtidos a partir dos resultados

Tabela E.1 - Comparação entre o *Glaucoma Analyser* e os métodos existentes.

Algoritmos	Tipo de análise	Sensibilidade	Limitações
WONG <i>et al.</i> (2008)	Escavação (CDR)	84.4%	-Muitos vasos sanguíneos sobre o disco óptico; -Glaucoma num estágio mais avançado; -Luminosidade inadequada.
ZHANG <i>et al.</i> (2010)	Escavação (CDR)	93.4%	-Outras retinopatias presentes no paciente
KAVITHA <i>et al.</i> (2010)	Escavação (CDR)	93.2%	-Não mencionado pelos autores
YU <i>et al.</i> (2005)	Escavação (CDR)	87%	-Baixa precisão
RAMANATHAN; BALARAMAN (2007)	Cristalização do fluído intra- ocular	97%	-Contraste, definição e delineamento desfavoráveis.
ACHARYA <i>et al.</i> (2011)	Combinação de texturas e <i>higher order spectra</i> (HOS)	95%	-Não mencionado pelos autores.
<i>Glaucoma Analyser</i>	Escavação (CDR)	100%	-Utilização de periféricos do computador. -Experiência e conhecimento do oftalmologista

Fonte: FUGALI, F.; WELFER, D. (2012).