UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA

Trabalho de Conclusão de Curso

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EXTRAÇÃO DO ÍNDICE CARDIOTORÁCICO EM IMAGENS RADIOLÓGICAS DO TÓRAX NA IDENTIFICAÇÃO DA CARDIOMEGALIA

Rebecca Beserra e Silva Campelo

Natal/RN
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EXTRAÇÃO DO ÍNDICE CARDIOTORÁCICO EM IMAGENS RADIOLÓGICAS DO TÓRAX NA IDENTIFICAÇÃO DA CARDIOMEGALIA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Biomédica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte para obtenção do título de Graduado em Engenharia Biomédica.

Graduanda: Rebecca Beserra e Silva Campelo.

Orientadora: Profa. Dra. Heliana Bezerra Soares.

Natal/RN

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EXTRAÇÃO DO ÍNDICE CARDIOTORÁCICO EM IMAGENS RADIOLÓGICAS DO TÓRAX NA IDENTIFICAÇÃO DA CARDIOMEGALIA

Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso:

Profa. Dra. Heliana Bezerra Soares	_____
UFRN - Orientadora	
Profa. Dra. Adriana Cláudia Câmara da Silva	_____
IFRN - Avaliadora externa	
Msc. Jusciaane Chacon Vieira	_____
UFRN – Avaliadora Interna	

Natal/RN

2019

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus pais, pilares da minha formação como ser humano.

AGRADECIMENTOS

Agradecer, primeiramente, a Deus por mais essa etapa concluída na minha trajetória e por ser tão abençoada.

Agradecer ao meu pai, Selassiê, por ter feito tudo que estava em seu alcance para permitir a realização de mais um sonho meu, e a minha mãe, Ivânia, que me apoia e me incentiva diariamente em buscar o melhor para mim, e que sempre se fez presente nas dificuldades encontradas ao longo desses anos.

Ao meu irmão, Campelo Neto, por sempre estar disposto a me ajudar e dividir todo o seu conhecimento comigo.

Ao meu namorado, Paulo Moura, por todo apoio, suporte nessa longa caminhada e visitas quinzenais que me ajudaram a aguentar tanta distância e saudade de casa.

Aos meus amigos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte por terem se tornado minha família no tempo que morei aqui em Natal, em especial à Flávia Farias e Ábner Lacerda, vou levar vocês comigo para sempre.

Aos meus amigos do Crato, em especial à Mariana Cervantes, Jacinta Alencar, Lis Rodrigues e Gladys Tavares, que apesar da distância sempre se fizeram presentes e depositaram tanto amor e desejos de boa sorte para que tudo corresse bem ao longo de todos esses anos longe de casa.

Aos meus avós maternos, Ilderval e Maritan, e minha avó paterna, Lucy, por terem me ajudado e nunca deixaram faltar nada.

Gostaria de agradecer também aos meus amigos do grupo de pesquisa, Síntia, Natalia, Bia e João Lucas, por toda a ajuda durante este período tão importante da minha formação acadêmica.

Agradecer a todos os professores do curso de Engenharia Biomédica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte por todo ensinamento, e um agradecimento em especial a minha orientadora professora Dra. Heliana, por todo apoio e paciência ao longo da elaboração do meu projeto final e por ter feito parte dessa trajetória tão importante da minha vida.

Gostaria de agradecer também aos professores da banca examinadora, por estarem prestigiando esse momento tão importante.

Obrigada a todos que fizeram parte desse sonho, essa conquista é de todos nós.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA iv

AGRADECIMENTOS v

SUMÁRIO vi

LISTA DE FIGURAS viii

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS ix

LISTA DE ABREVIAÇÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS x

RESUMO xi

ABSTRACT xii

INTRODUÇÃO 1

1.1 OBJETIVO 2

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2

1.2 ESTADO DA ARTE 3

1.2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA NA CARDIOLOGIA 3

1.2.2 REVISÃO SISTEMÁTICA EM RADIOLOGIA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS 4

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO 6

2. O CORAÇÃO 7

2.1 DOENÇAS DO CORAÇÃO 9

2.1.1 A CARDIOMEGALIA 9

2.2 DIAGNÓSTICO 11

3. SISTEMA DE EXTRAÇÃO DO ÍNDICE CARDIOTORÁCICO 13

3.1 FERRAMENTA DE DESENVOLVIMENTO 14

3.2 BANCO DE DADOS 14

3.3 SELEÇÃO DAS IMAGENS RADIOLÓGICAS 15

3.4 INCARDIO 16

3.5 PRÉ-PROCESSAMENTO DA IMAGEM 16

3.5.1 EQUALIZAÇÃO DA IMAGEM 17

3.5.2 CONTRASTE 17

3.5.3 BINARIZAÇÃO DA IMAGEM 18

3.5.4 MORFOLOGIA MATEMÁTICA 18

3.5.4.1 EROSÃO 19

3.5.4.2 DILATAÇÃO 20

3.5.4.3 ABERTURA 20

3.6 EXTRAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS 21

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 23

5. CONCLUSÃO 30

6. REFERÊNCIAS 32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - CTR usando o diâmetro do coração e do tórax. 5

Figura 2 - Localização do Coração. 7

Figura 3 - Estrutura do Coração. 8

Figura 4 - Diferença do tamanho do coração normal para um que possui a Cardiomegalia. 10

Figura 5 - Exemplos de imagens radiológicas. a) raio-X de tórax normal 11

b) raio-X com anormalidade.

Figura 6 - Diagrama de blocos do sistema. 13

Figura 7 - Sistema InCardio desenvolvido. 16

Figura 8 - a) Imagem em níveis de cinza e b) Imagem equalizada. 17

Figura 9 - a) Imagem em níveis de cinza e b) Imagem com contraste. 18

Figura 10 - a) Imagem original e b) Imagem binarizada. 18

Figura 11 - a) Imagem binária e b) Resultado da erosão aplicada em (a). 19

Figura 12 - a) Imagem original e b) Imagem com dilatação. 20

Figura 13 - a) Imagem com ruídos e b) Imagem após abertura morfológica. 21

Figura 14 - Imagem final com diâmetro marcado. 21

Figura 15 - Resultados das técnicas aplicadas em cada fase do sistema proposto. 24

Figura 16 - Sistema InCardio. 25

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Tabela 1 - Resultado do índice de 40 radiografias pelo sistema. 26

Tabela 2 - Resultados quantitativos. 28

LISTA DE ABREVIAÇÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

CMH: Cardiomiopatia Hipertrófica

PA: Póstero-anterior

CTR: Razão Cardiotorácica

CAMPELO, Rebecca Beserra e Silva. **Desenvolvimento de um Sistema Automático para Extração do Índice Cardiotorácico em Imagens Radiológicas do Tórax na Identificação da Cardiomegalia.** Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 51p., 2019.

RESUMO

No Brasil é amplamente conhecido o modo como as doenças de tórax em geral, bem como a cardiomegalia mais especificamente, atingem milhares de pessoas todos os anos causando desde pequenos desconfortos até o óbito. Para o diagnóstico preciso destas doenças é necessário um exame de raio-X que, muitas vezes, pode ser dificultado tanto pela qualidade da imagem, quanto por falta de equipamentos adequados. Neste trabalho, foi proposto um método automático para extração do índice cardiotorácico utilizando técnicas de processamento digital de imagens, auxiliando o especialista, contribuindo para a análise de exames de rotina e para o diagnóstico precoce. A metodologia empregada permite obter informações da radiografia, possibilitando a extração das características, levando em consideração as particularidades observadas pelos cardiologistas. Os resultados obtidos na estratégia utilizada foram significativos, sendo possível obter o índice cardiotorácico de cada imagem radiográfica do tórax analisada. O percentual de acerto foi de 84% indicando a presença da doença nas imagens com cardiomegalia e a ausência nas imagens saudáveis.

Palavras-chave: Segmentação, processamento de imagem, extração de características, cardiomegalia, imagens radiológicas, índice cardiotorácico.

CAMPELO, Rebecca Beserra e Silva. **Development of an Automatic System for Cardiothoracic Index Extraction in Chest Radiological Imaging in Cardiomegaly Identification.** Conclusion Work Project, Biomedical Engineer Bachelor Degree, Federal University of Rio Grande do Norte, 51p., 2019.

ABSTRACT

In Brazil, the way in which chest diseases in general, as well as cardiomegaly, in particular, affect thousands of people each year is widely known, causing everything from minor discomfort to death. To get an accurate diagnosis of these diseases is necessary an X-ray examination, which can often be hampered by both image quality and lack of adequate equipment. In this work, it was proposed an automatic method for cardiothoracic index extraction using digital image processing techniques, assisting of the specialist, contributing to the analysis of routine exams and early diagnosis. The methodology employed allows obtaining radiographic information, allowing the extraction of the characteristics, taking into consideration the particularities observed by the cardiologists. The results obtained in the used strategy were significant, being possible to obtain the cardiothoracic index of each chest radiographic image analyzed. The percentage of correct answers was 84%, indicating the presence of the disease in cardiomegaly images and the absence in healthy images.

Keywords: Segmentation, image processing, feature extraction, cardiomegaly, radiological images, cardiothoracic index.

1. INTRODUÇÃO

Desde o início dos estudos no âmbito da cardiologia, até o momento atual, é de conhecimento coletivo o altíssimo número de casos de pessoas com desconfortos causados através das doenças do tórax, essas podem ser os mais variados diagnósticos, entre eles a cardiomegalia (LEONARD, 2018). Sendo de difícil tratamento, essa, por sua vez, é o crescimento exacerbado do coração com indícios que aparecem bem antes de resultarem em insuficiência cardíaca, infarto e até morte súbita. Alguns dos sinais apresentados por pacientes são a falta de ar e fadiga bem como aumento da pressão arterial e palpitações cardíacas. Apesar de levar a óbito, essa doença tem cura e pode ser tratada principalmente quando diagnosticada cedo (MATTOS; ZAGO, 1986).

As doenças cardiovasculares são a principal causa de morte no mundo: mais pessoas morrem anualmente por essas enfermidades do que por qualquer outra causa. Estima-se que 17,7 milhões de pessoas morreram por doenças cardiovasculares em 2015, representando 31% de todas as mortes em nível global. Dessas 17 milhões de mortes prematuras (pessoas com menos de 70 anos) por doenças crônicas não transmissíveis, 82% acontecem em países de baixa e média renda e 37% são causadas por doenças cardiovasculares (OPAS, 2017).

Com as maiores ocorrências em idosos, porém ainda existe, e não se exclui a possibilidade, de acontecer em pacientes mais novos. Para obter sucesso no tratamento, existe a necessidade de realizar atividades físicas e manter uma boa alimentação juntamente com um tratamento básico baseado em medicamentos diuréticos e reguladores de hormônios. Esses são usados para conter os batimentos cardíacos e pressão arterial. Em casos mais sérios existe a necessidade de uma cirurgia com a finalidade de refazer a estrutura do coração ou até de transplante cardíaco (ALBANESI, 1998).

Muitos desses óbitos poderiam ser evitados com um diagnóstico mais preciso. Para obterem sucesso no reconhecimento dessa enfermidade, várias são as técnicas utilizadas para auxiliarem os médicos. Uma das fundamentais, nesse caso, é o exame de radiografia de tórax. A mesma é um dos exames radiológicos mais utilizados na prática médica. Seu baixo custo, aliado à facilidade de realização e grande disponibilidade, fazem com que este método seja muito frequente em serviços

ambulatoriais, enfermarias hospitalares e centros de terapia intensiva. Na avaliação da radiografia de tórax, devemos sempre levar em consideração se o exame está com dose de radiação adequada, bem inspirado e adequadamente centrado (MEIRELLES, 2019). Para uma imagem de boa qualidade é indispensável técnicos familiarizados com o equipamento além de um artefato de ótima categoria (GONÇALVES, 2009).

Uma forma de análise bastante utilizada hoje em dia são as técnicas de processamento digital em imagens radiológicas. Esse processamento de imagens envolve a alteração da natureza de uma imagem para melhorar sua informação para interpretação humana e tornar mais adequado para a percepção autônoma da máquina (MCANDREW, 2004). Essas técnicas são importantes em consequência de permitir, após a sua aplicabilidade, o auxílio aos médicos especialistas no diagnóstico preciso da doença, visto que elas fornecem recursos que permitem uma melhor visualização da imagem radiológica, destacando pontos importantes e amenizando ruídos que, muitas vezes, impossibilitam a compreensão da radiografia. Na literatura, Oliveira *et al.* (2007) exemplificou essas técnicas ao utilizar pré-processamento e segmentação para extrair as características necessárias de tomografias.

Sabendo que devido aos recursos financeiros limitados para adquirir aparelhos ideais, muitas imagens radiológicas possuem a qualidade comprometida, seja por equipamentos mal instalados ou por falta de profissional capacitado (CALDAS *et al.*, 2005). Para auxiliar e facilitar o diagnóstico da cardiomegalia como também reduzir os custos do tratamento e o número de óbitos, foi desenvolvido uma estratégia, utilizando técnicas de processamento de imagens capaz de extrair o índice cardiotorácico, auxiliando o especialista no diagnóstico precoce.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema automático para a extração do índice cardiotorácico em imagens radiológicas do tórax permitindo o auxílio ao médico especialista no diagnóstico da cardiomegalia.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário abordar os seguintes pontos:

- Compreender e entender os conceitos da especialidade médica em estudo;

- Estudar técnicas de processamento digital de imagens;
- Estudar e entender a base de dados utilizada neste trabalho;
- Identificar visualmente o problema nas imagens radiológicas do tórax;
- Estudar a ferramenta de desenvolvimento dos algoritmos;
- Criar uma estratégia com as técnicas de processamento digital de imagens para a extração das características das imagens radiológicas;
- Implementar as técnicas selecionadas na estratégia criada;
- Realizar testes com as imagens da base de dados;
- Aplicar análise estatísticas com os resultados obtidos;
- Comparar os resultados do trabalho com os da literatura.

1.2 ESTADO DA ARTE

1.2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA NA CARDIOLOGIA

Segundo Semsarian *et al.* (2015), a cardiomiopatia hipertrófica (CMH) é uma importante doença genética do músculo cardíaco cuja prevalência na população em geral não foi completamente resolvida. Nos últimos 20 anos, a maioria dos dados apoiou a ocorrência de CMH em cerca de 1 em 500 pessoas. Os autores revisitaram a prevalência de CMH na população em geral e sugeriram que a CMH é mais comum do que o estimado anteriormente, o que pode aumentar seu reconhecimento na comunidade cardiovascular, permitindo um diagnóstico mais oportuno e a implementação de opções de tratamento apropriadas para muitos pacientes.

Silva *et al.* (2010) afirmaram que a cardiomegalia pode ser definida como o aumento do coração, geralmente indicado por um índice cardiotorácico acima de 0,50, avaliado por radiografia de tórax em incidências póstero-anterior (PA) e lateral.

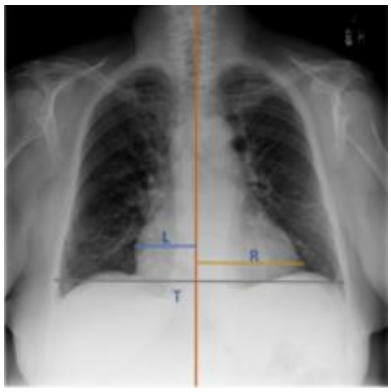
Em seus estudos, Que *et al.* (2018) afirmam que a cardiomegalia é uma das doenças cardiovasculares herdadas mais comuns, com uma prevalência de pelo menos 1 em 500 na população em geral. É um sintoma insuficiência cardíaca, que é a resposta do coração a uma variedade de estímulos extrínsecos e intrínsecos que impõem tensões biomecânicas aumentadas além de estar associada a resultados desfavoráveis e ameaça os pacientes afetados com morte súbita ou progressão à insuficiência cardíaca evidente.

1.2.2 REVISÃO SISTEMÁTICA EM RADIOLOGIA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Em Osibote *et al.* (2007) a Comunidade Européia organizou um comitê que elaborou critérios para imagens radiográficas com fins diagnósticos. Esses critérios foram basicamente definidos considerando ou não a presença de estruturas anatômicas da região radiografada, assim como o grau de visualização delas. Os critérios são classificados em três graus: visualização – as características anatômicas são detectadas, porém não são totalmente reproduzidas; reprodução – os detalhes anatômicos são identificados, mas não estão necessariamente claramente definidos; reprodução nítida – os detalhes anatômicos estão claramente definidos. Além disso o treinamento adequado dos técnicos, o desempenho dos equipamentos de raios X e das processadoras automáticas de filmes, assim como o emprego das técnicas de alta quilovoltagem, poderão ser de grande valia para a redução das doses de radiação nos pacientes e obtenção de imagens de qualidade superior.

Em seus estudos, Que *et al.* (2018) desenvolveram um método inovador, o CardioXNet, para diagnosticar cardiomegalia a partir de imagens radiográficas do tórax. Para esse diagnóstico, a razão cardiotorácica (CTR) foi empregada como critério para determinar a cardiomegalia. A CTR na radiografia de tórax indica a relação entre o tamanho do coração e o tamanho do tórax. A CTR pode ser identificada medindo CTR = (L+R) / T. R e L são as maiores distâncias da linha vertical central (linha média do tórax) até os limites direito e esquerdo do coração, respectivamente, e T é a maior distância horizontal do limite esquerdo e direito do pulmão (Figura 1). A razão cardiotorácica normal situa-se entre 39% e 50%, com uma média de cerca de 45%. Se a CTR for maior que 0,5, mostra a cardiomegalia na maioria dos casos. O CardioXNet mostrou alta precisão de segmentação e teve bom desempenho no reconhecimento cardíaco e torácico, mesmo quando o conjunto de dados dos pacientes não era grande o suficiente.

Figura 1: CTR usando o diâmetro do coração e do tórax.



Fonte: Que *et al.* (2018).

No artigo Torres-Robles *et al.* (2014), os autores apresentaram um classificador difuso robusto para decidir se uma imagem radiográfica do tórax tem cardiomegalia ou não. O algoritmo difuso proposto é muito robusto em encontrar os valores corretos de características que são importantes para medir o aumento do coração nas imagens do tórax para detectar cardiomegalia. Este algoritmo corrige os valores de características falsas obtidos durante o estágio básico de segmentação, onde são utilizados algoritmos de detecção de bordas de Sobel e morfologia matemática.

Ishida *et al.* (2005) determinaram a razão cardiotorácica automaticamente. Os autores desenvolveram um esquema computadorizado baseado na análise de histograma no nível de cinza e uma técnica de detecção de arestas com análise de características. Para isso, realizaram uma correção de densidade não linear para manter a consistência na densidade e no contraste da imagem. A detecção inicial da borda do coração foi realizada pela seleção de uma certa faixa de valores de *pixel* no histograma de uma área retangular no centro de uma imagem de baixa resolução. A análise de características com o uso de um gradiente de borda e com a orientação obtida por um operador de Sobel foi aplicada para identificação precisa das bordas do coração, que tendem a ter grandes gradientes de borda em uma determinada faixa de orientações. Por fim, para determinar a CTR, detectaram as bordas da caixa torácica automaticamente usando a análise de perfil de imagem.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado da seguinte forma:

- A seção 2 aborda os conhecimentos necessários da área de cardiologia para o entendimento e desenvolvimento do trabalho;
- Na seção 3 descreve a metodologia utilizada e a apresentação da técnica proposta;
- Na seção 4 demonstra os resultados obtidos e discussões acerca do tema, envolvendo comparações e dados encontrados;
- Na seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. O CORAÇÃO

Dentre os órgãos vitais mais importantes, o coração é um que merece bastante atenção. Já que um coração saudável é o reflexo do que acontece com o corpo humano, fica simples detectar quando algo se encontra errado. Para entender melhor um dos problemas que acometem o coração, como a cardiomegalia estudada neste trabalho, definida pelo aumento do coração, é relevante entender um pouco mais sobre o seu funcionamento.

O coração está localizado entre os dois pulmões, na cavidade torácica, com aproximadamente dois terços de sua massa situando-se à esquerda da linha mediana do corpo (TORTORA; DERRICKSON, 2017), visualizado na figura 2. Uma partição divide o coração em lados direito e esquerdo. As duas câmaras superiores são chamadas átrios, e as duas câmaras inferiores são chamadas ventrículos (THIBODEAU; PATTON, 2002). O coração dispõe de quatro válvulas: a mitral, a tricúspide, a aórtica e a pulmonar. Todas elas são integradas por três dobras ou pregas, à exceção da mitral, que só tem duas (PLANETA *et al.*, 1999).

Figura 2: Localização do coração.

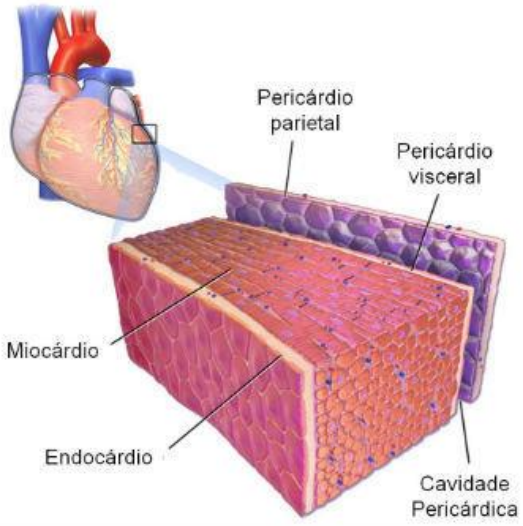
Fonte: (SANTOS, 2018).

A membrana que envolve e protege o coração e o mantém no lugar é o pericárdio, que consiste em duas partes: o pericárdio fibroso e o pericárdio seroso. O pericárdio fibroso, externo, é um tecido conectivo denso não modelado, resistente e inelástico, que impede a distensão excessiva do coração, fornece proteção e ancora

o coração em seu lugar. O pericárdio seroso, interno, é uma membrana delgada e mais delicada, que forma dupla camada em torno do coração (TORTORA; DERRICKSON, 2017).

A parede do coração é formada por três camadas: o pericárdio é a membrana serosa que envolve o coração. Ele é formado por dois tipos de membranas com diferentes constituições, o pericárdio parietal, camada externa formada por uma camada de feixes de colágenos, e pericárdio visceral, camada interna formada por uma membrana serosa (Figura 3). O pericárdio possui a função protetora e auxilia o coração a se manter na posição correta. O endocárdio é a membrana fina e lisa que reveste internamente as cavidades do coração. É formado por células endoteliais achatadas, dispostas em uma única camada. O miocárdio é a camada média e mais espessa do coração. É formado por tecido muscular estriado e responsável pelas contrações do coração. Essa condição permite que o coração possa realizar a sua função propulsora do sangue (MAGALHÃES, 2018).

Figura 3: Estrutura do Coração.



Fonte: (MAGALHÃES, 2018).

Tendo como função principal bombear o sangue para todo o corpo, esse órgão funciona como uma bomba dupla. Um lado do coração, mais precisamente o direito, bombeia sangue venoso para os pulmões. O outro lado, o esquerdo, bombeia sangue arterial para as diversas partes do corpo. Isso só é possível devido a sístole e diástole realizada pelo coração, ou seja, o primeiro é o movimento de bombear o sangue,

realizando um movimento de contração, e o segundo é um movimento de relaxamento, que permite o coração encher de sangue novamente (MAGALHÃES, 2018).

O coração realiza suas funções graças a contrações e dilatações sucessivas, que ocorrem com frequência regular. Apesar do controle que o sistema nervoso autônomo exerce sobre o músculo cardíaco, este mantém um ritmo fundamental e independente desse controle (PLANETA *et al.*, 1999).

2.1 DOENÇAS DO CORAÇÃO

Existem uma série de doenças que afetam especificamente o coração, comprometendo sua morfologia e funcionamento (DEXTRO, 2006). Alguns exemplos incluem a insuficiência cardíaca, a cardiomegalia, a doença de Chagas, a endocardite, a miocardite, as arritmias cardíacas, doenças isquêmicas, entre outras (CARDIOLOGIA, 2019).

Grande parte das doenças que acometem o coração tem em comum fatores de risco associados ao sedentarismo, aumento da pressão arterial, alimentação desbalanceada, obesidade, tabagismo, histórico familiar de doenças cardiovasculares, diabetes descontrolada e desregulação da tireoide (DEXTRO, 2006).

Apesar das mais variadas doenças que envolvem esse órgão, este trabalho irá enfatizar apenas a do objetivo do projeto proposto: a cardiomegalia. Essa enfermidade além de ser caracterizada como doença, é caracterizada também como sintomas de muitas outras enfermidades relacionadas ao coração.

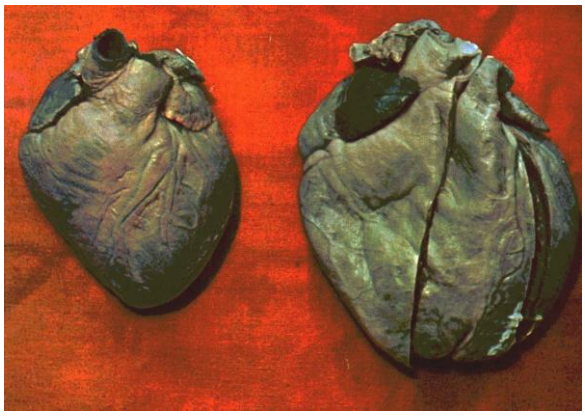
2.1.1 A CARDIOMEGALIA

Definida também como o aumento do tamanho do coração, essa enfermidade acomete em sua maioria os idosos, não sendo regra, visto que pode ocorrer também em pessoas jovens. Essa doença pode ser tratada e contida quando descoberta cedo e para isso é necessário atentar-se aos sintomas dado pelo corpo (LIMA, 2019).

A cardiomegalia é causada por uma doença do miocárdio. Essa, por sua vez, é dividida em dois tipos. A primeira é a dilatada, que é uma doença caracterizada por um ventrículo esquerdo amplo e com mau funcionamento, sendo a principal câmara de bombeamento do coração. A segunda é a hipertrófica, ou seja, as células do

músculo cardíaco aumentam e as paredes dos ventrículos tornam-se mais espessas (LEONARD, 2018). A figura 4 apresenta a diferença de tamanhos entre um coração normal e um coração com cardiomegalia.

Figura 4: Diferença de tamanho do coração normal e um coração com cardiomegalia.



Fonte: (GOMES, 2011).

Em vários casos estudados, os pacientes apresentaram ritmo dos batimentos cardíacos anormais e dor no peito bem como falta de ar e cansaço extremo (LIMA, 2019). Alguns casos são assintomáticos. Nesses, os pacientes relataram ter descoberto a enfermidade após exames de rotina.

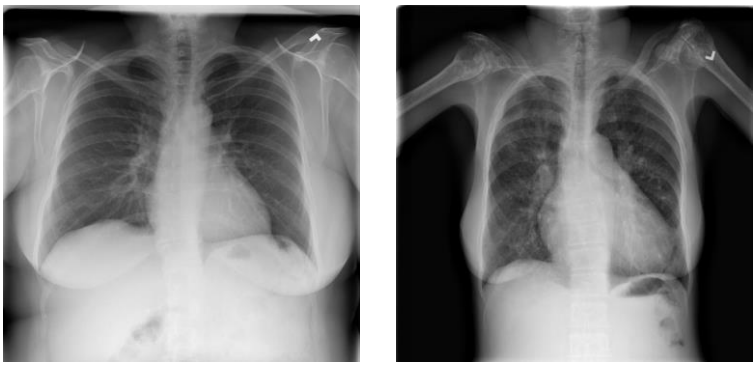
Diversos fatores de risco influenciam no aumento de probabilidade dessa patologia, entre eles o ferro excessivo no corpo, que ao ser armazenado no coração resulta no crescimento do mesmo, fluido ao redor do órgão, causado por recolhimento anormal do líquido existente em volta dele. Além de diabetes e anemia, o histórico familiar também afeta diretamente no coração aumentado, devido a razões genéticas, elevando a hipótese de desenvolver essa patologia (LEONARD, 2018).

Uma rotina saudável com hábitos alimentares benéficos são uma das prevenções para esse tipo de enfermidade. Cuidar da saúde, evitar o consumo de bebidas alcoólicas e fazer uso de uma dieta balanceada, especialmente com pouco sal, são alguns dos tópicos indicados pelos médicos cardiologistas para prevenir além de manter os exames de rotina em dia (LEONARD, 2018).

2.2 DIAGNÓSTICO

Com ajuda de alguns equipamentos médicos é possível descobrir quando o paciente apresenta essa disfunção. Um exame bastante comum e que permite sucesso nesse diagnóstico é a radiografia de tórax, se tornando o exame de maior utilização, sendo possível detectar a olho nu quando apresenta ou não anormalidade (Figura 5).

Figura 5: Exemplos de imagens radiológicas. a) raio-X de tórax normal e b) raio-X com anormalidade.



(a) (b)

Fonte: (NIH, 2017).

Os raios X são radiações eletromagnéticas de alta frequência, produzidas a partir da colisão de feixes de elétrons com metais. Essa radiação não pode ser percebida pelo olho humano, pois está além da frequência máxima distinguida pela visão humana (JUNIOR, 2019). Esse exame fornece imagens rápidas, de alta qualidade e são relativamente baratas. O tempo médio para os exames de filmes simples não leva mais do que 10 a 15 minutos e não requerem preparação especial do paciente (WISSLER, 2011).

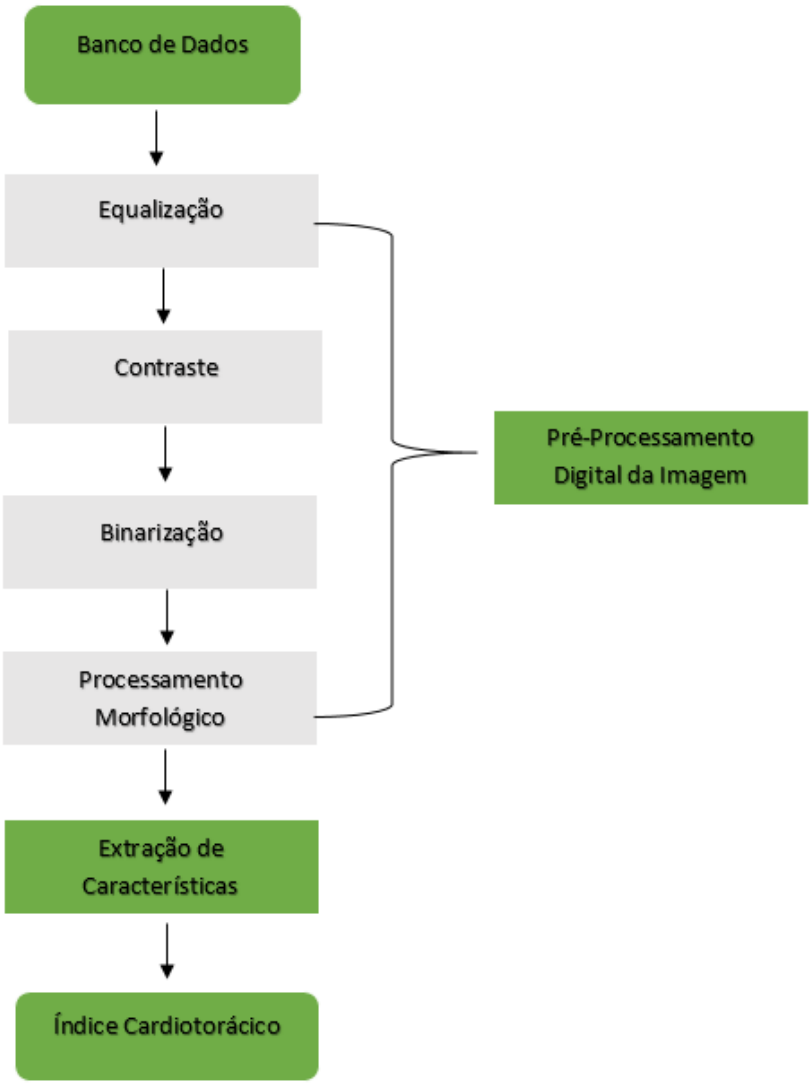
A radiografia do tórax pode ser obtida em várias incidências, sendo a póstero-anterior (PA) a mais frequente e a única a ser geralmente realizada no indivíduo assintomático (ALFARO; MONTEIRO; CORDEIRO, 2011). A radiografia de tórax deve ser feita com o paciente de pé, com braços elevados, e póstero-anterior e se possível em inspiração. Posição apropriada e penetração do filme são particularidades essenciais para a avaliação da vascularização pulmonar (VICTORICA, 2000).

Além do exame de raio-X existem mais alguns que podem auxiliar no diagnóstico dessa doença. Esses outros tipos são exames de sangue, ecocardiograma, ressonância magnética, eletrocardiograma, entre outros. Com o resultado dos testes é possível avaliar a real situação do paciente.

3. SISTEMA DE EXTRAÇÃO DO ÍNDICE CARDIOTORÁCICO

A determinação do índice cardiotorácico é de grande importância devido a sua ligação com o diagnóstico da cardiomegalia, visto que esse elemento exclui ou inclui o paciente em um tratamento mais difícil. O sistema desenvolvido foi realizado em etapas e para um melhor entendimento foi ilustrado o diagrama de blocos, com as fases detalhadas da metodologia utilizada nas imagens radiológicas, para extrair o índice cardiotorácico (Figura 6).

Figura 6: Diagrama de blocos do sistema.



Fonte: elaborado pelo autor.

Conforme demonstrado no diagrama (Figura 6), as imagens radiológicas percorreram várias etapas até estarem aptas para serem processadas. O exame de

raio-X utilizado para os testes, seja com cardiomegalia e exames saudáveis, foi selecionado da base de dados e em seguida realizado o pré-processamento da imagem. Após essa etapa de melhoria da imagem, foram extraídas as características necessárias para a realização do cálculo do CTR, finalizando com um valor apresentado ao especialista. A metodologia e as técnicas utilizadas na estratégia ilustrada na Figura 5 é descrita nas seções a seguir.

3.1 FERRAMENTA DE DESENVOLVIMENTO

O MatLab é um sistema interativo de uma linguagem de programação baseados numa matriz, onde as soluções e problemas são expressos em linguagem matemática. Através da utilização do MatLab é possível realizar análise numérica, operações com matrizes, construção de gráficos e criação de interfaces com o usuário (MATSUNAGA, 2012).

Esse *software* contém também uma variedade de *Toolbox*, ferramentas para as mais variadas aplicações, entre elas o processamento de sinais e as redes neurais (FEREGUETTI, 2019) .

O MatLab é uma ferramenta utilizada por estudantes e profissionais da engenharia, onde trocam experiências de inovação. Fácil de ser manipulado e com rapidez em realizar cálculos, além de permitir a instalação em vários sistemas operacionais. Os aplicativos são interativos e combinam o acesso direto com uma grande coleção de algoritmos.

3.2 BANCO DE DADOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado o banco de dados *ChestX-Ray8* da *National Institutes of Health*. A base possui 108.948 imagens de radiografia de vista frontal de 32.717 pacientes únicos, coletadas no ano de 1992 a 2015 (WANG *et al.*, 2017). As imagens disponíveis são de quatorze diagnósticos de doenças envolvendo o tórax como atelectasia, cardiomegalia, infiltração, nódulo, pneumonia, pneumotórax, entre outras.

As imagens são armazenadas no banco de dados clínico *PACS (Picture Archiving and Communication System* - Sistema de Comunicação e Arquivamento de Imagens), do Centro Clínico do *National Institutes of Health* e consiste em

aproximadamente 60% de todas as radiografias frontais de tórax do hospital (WANG *et al.*, 2017).

As imagens de raios-X do tórax do *ChestX-ray8* são fornecidas em um diretório *online*, organizadas em 12 pastas contendo diagnósticos positivos e negativos da disfunção em formato PNG.

3.3 SELEÇÃO DAS IMAGENS RADIOLÓGICAS

Devido a abundante quantidade de imagens radiológicas fornecidas pela base de dados e algumas delas possuírem artefatos, foi necessário realizar uma escolha para selecionar apenas as que dispõem de uma visualização adequada. Para essa seleção, foi realizada uma triagem com alguns pontos importantes na classificação desse exame de raio-X.

O primeiro ponto analisado e destacado para a seleção dessas imagens foi a obrigatoriedade de o exame ter sido realizado na posição póstero-anterior. Essa posição é a mais indicada para radiografia de tórax por ser realizada com o paciente em pé além de permitir que o tamanho do coração na imagem obtida fique mais próximo do real (KURIKI, 2017).

O segundo ponto escolhido foi a necessidade de as clavículas estarem alinhadas no ângulo de 90° com a coluna vertebral. Essa indispensabilidade foi importante em virtude de optar apenas por imagens nas quais os pacientes apresentam o tronco ereto, sem curvatura, podendo analisar corretamente os elementos fornecidos pelo raio-X.

Inspiração adequada do paciente e penetração ideal das radiações eletromagnéticas foram também observadas no resultado do exame realizado do raio-X. A primeira é importante por permitir uma melhor visualização além de apontar a existência de alguma anormalidade do órgão em questão (MORSCH, 2018). A penetração ideal é significativa pois proporciona uma imagem mais contrastada permitindo salientar detalhes anatômicos.

A enumeração desses requisitos se deu após analisar a qualidade dessas imagens e, consequentemente, tentar evitar os falsos positivos. Após aplicação desses itens, foram selecionadas 472 imagens radiográficas, sendo 150 com

cardiomegalia e 322 com suspeita de serem saudáveis, com qualidade, sem distorção e artefatos provocados pelo processo da aquisição da imagem.

3.4 INCARDIO

O sistema desenvolvido para extração do índice cardiotorácico foi denominado *InCardio*, desenvolvido no MatLab, como apresentado na figura 7. Todas as etapas desta estratégia serão descritas nos próximos tópicos.

Figura 7: Sistema InCardio desenvolvido.

Fonte: elaborado pelo autor.

3.5 PRÉ-PROCESSAMENTO DA IMAGEM

O interesse nos métodos de processamento digital de imagens provém de duas áreas principais de aplicação: melhora das informações visuais para a interpretação humana e processamento de dados de imagens para armazenamento, transmissão e representação, considerando a percepção automática por máquinas (GONZALEZ; WOODS, 2010). Para realizar o objetivo do projeto, foi necessária uma série de processos digitais, que serão descritos a seguir apenas as técnicas utilizadas no sistema proposto, para adequar a imagem radiológica, deixando-a livre de ruídos e ideal para a extração do índice cardiotorácico.

3.5.1 EQUALIZAÇÃO DA IMAGEM

A equalização é uma maneira de manipulação de histograma que reduz automaticamente o contraste em áreas muito claras ou muito escuras, em uma imagem, expandindo também os níveis de cinza ao longo de todo intervalo, além de servir para aprimorar o contraste que a mesma já possuía (LOPES; NAMIKAWA; BRUNO, 2009). Considerando as significativas diferenças de contraste entre as imagens originais, o exemplo da figura 8 ilustra o poder da equalização de histograma como uma ferramenta adaptável de realce de contraste configurando uma boa abordagem porque os resultados dessa técnica são previsíveis, e de fácil implementação (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Figura 8: a) Imagem em níveis de cinza e b) Imagem equalizada.

(a) (b)

Fonte: elaborado pelo autor.

3.5.2 CONTRASTE

O contraste é o processo que consiste no aumento da intensidade de informação que está presente em cada nível de uma imagem (PINHO; COUTO, 2005). Esse efeito visual torna a figura mais acessível, fortalecendo as tonalidades e fornecendo uma melhoria na visualização para os especialistas. Além de permitir a manipulação do contraste para o realce local, sendo uma abordagem ideal para problemas como em que uma imagem pode conter elementos ocultos (GONZALEZ; WOODS, 2010). Foi ilustrado na figura 9 o contraste da imagem em níveis de cinza com o teste para o limiar de 120.

Figura 9: a) Imagem em níveis de cinza e b) Imagem com contraste.

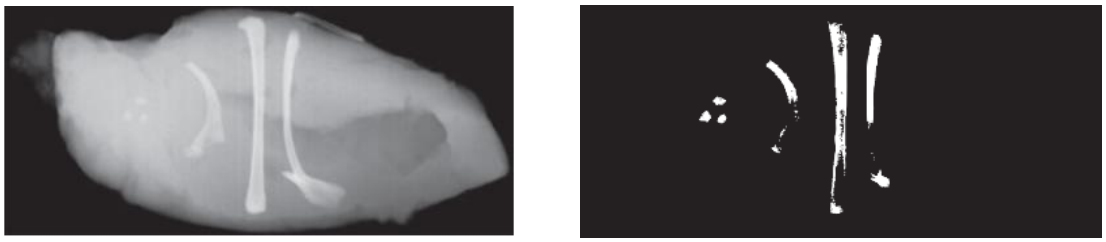
(a) (b)

Fonte: elaborado pelo autor.

3.5.3 BINARIZAÇÃO DA IMAGEM

O terceiro passo foi a binarização da imagem. Esse método consiste em transformar a imagem em dois níveis de intensidade, servindo para identificar os objetos e separá-los em regiões de interesse através da escolha de um ponto de corte, podem ser representadas por *pixels* pretos e brancos, dando assim uma melhor visualização (GONZALEZ; WOODS, 2010) (Figura 10).

Figura 10: a) Imagem original e b) imagem binarizada.



(a) (b)

Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 2010).

3.5.4 MORFOLOGIA MATEMÁTICA

A morfologia matemática é uma ferramenta para extrair componentes das imagens que são úteis na representação e na descrição da forma de uma região, como fronteiras, esqueletos e o fecho convexo, como também interessa as técnicas morfológicas para pré ou pós-processamento, como a filtragem morfológica,

afinamento e poda. Para examinar uma imagem buscando propriedades de interesse são utilizados elementos estruturantes, denominados pequenos conjuntos ou subimagens usadas apresentando valores de 0 ou 1 que passam por todos os elementos da imagem com a finalidade de expandir ou reduzir a mesma. Essa ferramenta oferece uma abordagem unificada e poderosa para vários problemas de processamento de imagens (GONZALEZ; WOODS, 2010). Para o processo morfológico, duas operações são fundamentais: erosão e dilatação.

3.5.4.1 EROSÃO

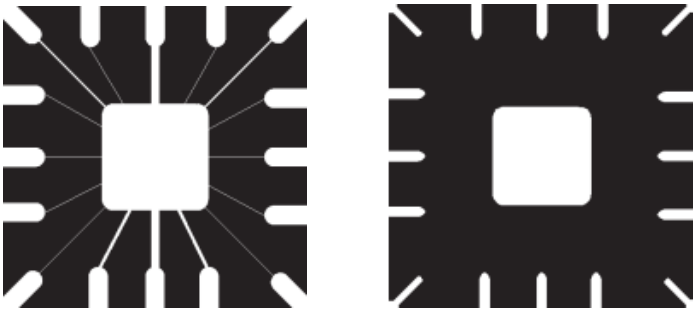
A erosão diminui os objetos em uma imagem binária. É possível ver a erosão como uma operação de filtragem morfológica em que os detalhes da imagem menores que o elemento estruturante são removidos da imagem (Figura 11) (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Com A e B como conjuntos de Z^2, a erosão de A por B, indicada por □ ⊖ □é definida como:

$$A \ominus B = \{z|(B)_z \subseteq A \ \} \tag{1.1}$$

assim, a equação (1.1) mostra que a erosão de A por B é o conjunto de todos os pontos z de forma que B, transladado por z, está contido em A e o conjunto B é considerado um elemento estruturante (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Figura 11: a) Imagem binária e b) Resultado da erosão aplicada em (a).



(a) (b)

Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 2010).

3.5.4.2 DILATAÇÃO

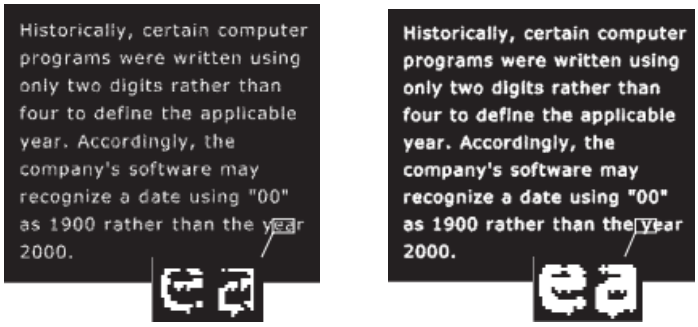
Sem perder a originalidade e pontos principais, foi utilizado o processo de dilatação. Essa operação, ao contrário da erosão, é uma operação de diminuição ou afinamento, expandindo os componentes em uma imagem binária (Figura 12), a forma específica e a extensão desse espessamento são controladas pelo formato do elemento estruturante utilizado (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Com A e B como conjuntos de Z_2, a dilatação de A por B, indicada por □ ⊕ □ é definida como:

$$A \oplus B = \left\{ z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset \right\} \quad (1.2)$$

isto é, reflexão de B em torno de sua origem, seguida da translação dessa reflexão por z (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Figura 12: (a) Imagem original e (b) Imagem com dilatação.



(a) (b)

Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 2010).

3.5.4.3 ABERTURA

A abertura morfológica foi outro processo utilizado para conseguir a adequação ideal da imagem para o sistema, removendo alguns artefatos que apareceram nas imagens devido a processamentos anteriores. Essa operação morfológica geralmente suaviza o contorno de um objeto, rompe os istmos e elimina as saliências finas (GONZALEZ; WOODS, 2010). A abertura é a sequência do processo da erosão seguida pela dilatação. Essa operação serve para amenizar os ruídos existentes, retirando ruídos existentes na imagem (Figura 13).

A abertura do conjunto A pelo elemento estruturante B, indicado por □ ∘ □ é definida como:

$$A \circ B = (A \ominus B \oplus B) \quad (1.3)$$

assim, a abertura de A por B é a erosão de A por B, seguida de uma dilatação do resultado por B (GONZALEZ; WOODS, 2010).

Figura 13: a) Imagem com ruídos e b) Imagem após abertura morfológica.

(a) (b)

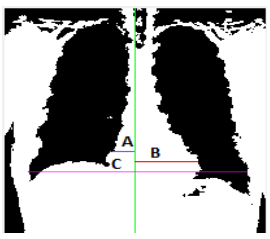
Fonte: (GONZALEZ; WOODS, 2010).

3.6 EXTRAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS

Um modo de permitir, junto com outros exames paralelos, um diagnóstico correto da cardiomegalia, é o cálculo do índice cardiotorácico do paciente. Esse serve para informar o tamanho do contorno cardíaco e auxiliar o médico especialista na compreensão da doença através das imagens radiológicas.

A primeira etapa idealizada foi localizar o contorno dos pulmões realizando uma varredura na imagem *pixel* a *pixel*. Antes de demarcar as linhas necessárias para a extração, foi estabelecido os limites máximos à direita e esquerda dos pulmões e do coração, respectivamente, para encontrar o diâmetro do tórax e do coração (Figura 14).

Figura 14: Imagem final com diâmetro marcado.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para implementar a etapa de extração do índice cardíaco de forma automática, utilizada pelos especialistas em seu diagnóstico, foi utilizado como parâmetro o aplicado por Que *et al.* (2018) em seus estudos, usando como critério para o diagnóstico da cardiomegalia. Na radiografia, essa razão indica a relação entre o tamanho do coração e o tamanho do tórax, podendo ser identificada medindo pela equação (1.4), em que A e B são as maiores distâncias da linha vertical central até os limites direito e esquerdo do coração, respectivamente, e C é a maior distância horizontal do limite esquerdo e direito do pulmão (Que *et al.,* 2018).

$$IC = (A+B)/C \tag{1.4}$$

Após o processo de pré-processamento e demarcação das linhas, o algoritmo percorre a imagem com a finalidade de encontrar quantos *pixels* pertencem a cada uma das linhas a direita e esquerda, calculando assim seu comprimento, encontrando o índice cardiotorácico. Para fins demonstrativos, os indicadores foram demarcados na imagem ilustrada no sistema desenvolvido com o intuito de tornar compreensível para os médicos especialistas qual margem o sistema consegue extrair para realizar o cálculo do índice nas radiografias analisadas, permitindo assim uma melhor visualização dos exames, ajudando em seu diagnóstico (Figura 13).

Com a estratégia criada foi possível elaborar um sistema automático para calcular o índice cardiotorácico em cada exame investigado dentre as imagens radiológicas da base de dados, possibilitando ao cardiologista um sistema de auxílio no diagnóstico do paciente e proporcionando uma análise visual diferenciada no exame.

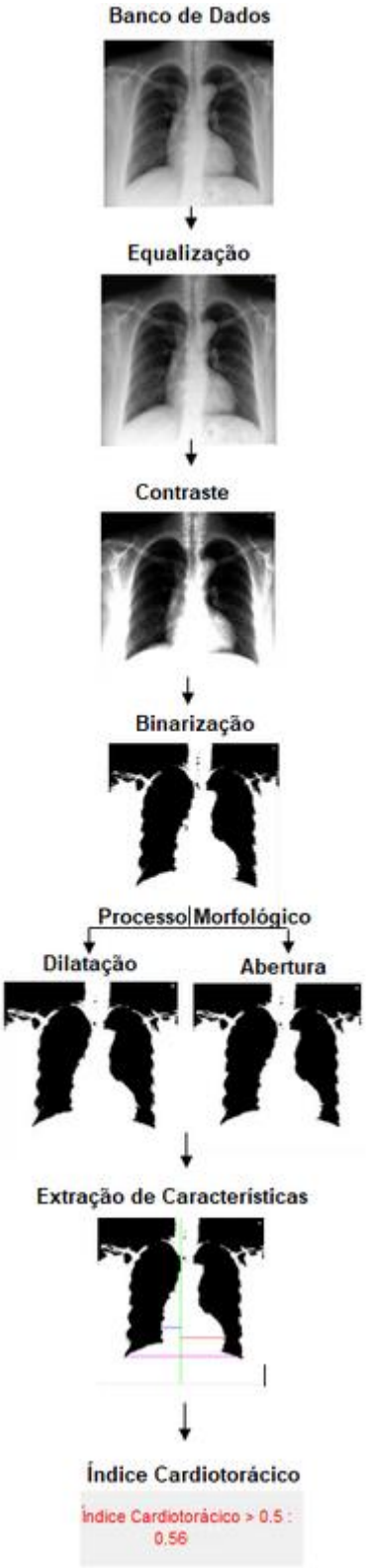
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Sabe-se que muitos são os casos de cardiomegalia no mundo e que alguns desses diagnósticos positivos na verdade são errôneos. Isso se dá por vários motivos, seja baixa qualidade da imagem radiológica ou despreparo do médico radiologista, como também a má posição do paciente e movimentos realizados durante o exame. Por esses motivos, houve uma maior atenção ao analisar as imagens utilizando o sistema proposto com a finalidade de permitir um diagnóstico correto evitando os falsos positivos, quando é diagnosticado a presença da doença no paciente sem ela existir, podendo resultar tanto em problemas jurídicos quanto em problemas psicológicos, causando danos emocionais e físicos devido a tratamentos desnecessários para o paciente. Além dos falsos positivos, é importante analisar com cautela em relação aos falsos negativos. Esse resultado ocorre quando o exame é realizado e não é constatada a doença, deduzindo que o coração é saudável, porém, futuramente, o mesmo descobre determinada enfermidade.

Para evitar diagnósticos errados devido à baixa qualidade da imagem e auxiliar o especialista, foram testadas várias técnicas com o objetivo de melhorar os atributos da imagem para uma análise visual do especialista e, consequentemente, a extração das características importantes para o cálculo automático do índice cardiotorácico.

Na figura 15 pode ser visualizado os resultados das etapas descritas no diagrama de blocos (seção 3) e seus devidos resultados obtidos pelas técnicas aplicadas em cada uma das fases.

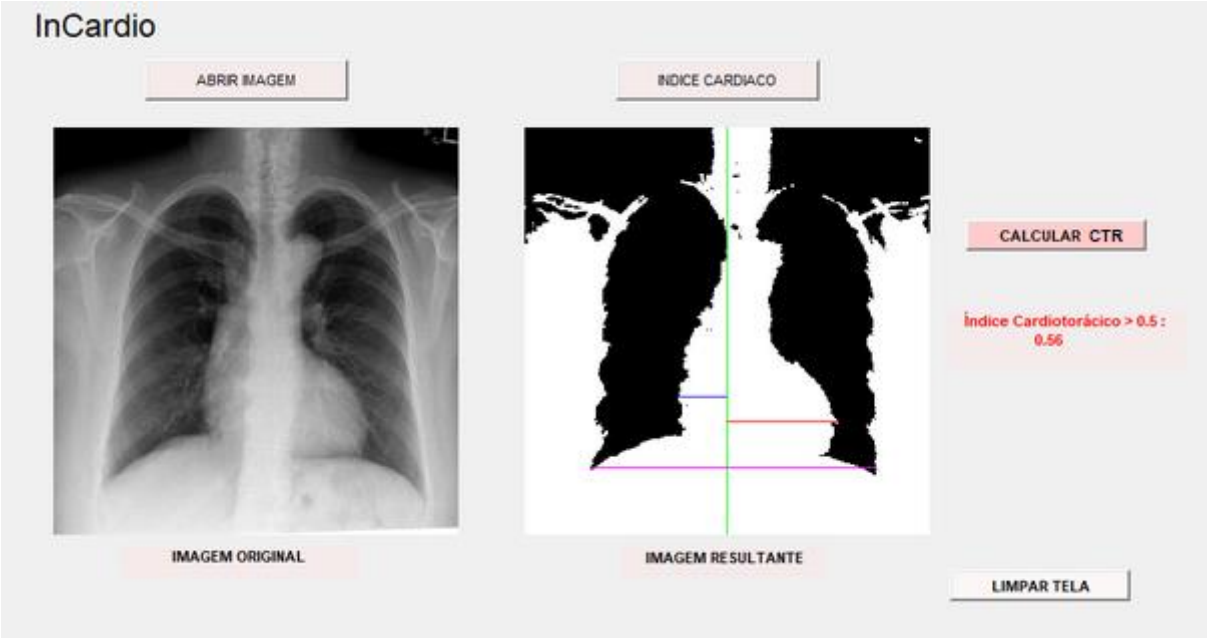
Figura 15: Resultados das técnicas aplicadas em cada fase do sistema proposto.



Fonte: elaborada pelo autor.

Com o objetivo de agilizar o diagnóstico médico em seus laudos, o sistema proposto é simples, intuitivo, de fácil utilização, linguagem natural, com interface clara, *feedback* do índice cardiotorácico e tempo de execução baixo no processamento (Figura 16).

Figura 16: Sistema InCardio.



Fonte: elaborado pelo autor.

Para obter corretamente o índice cardiotorácico e permitir a utilização desse sistema automático por médicos especialistas, houve uma maior atenção na elaboração desse procedimento. Sabendo que esse índice cardiotorácico foi obtido pela relação entre o diâmetro transverso do coração e o diâmetro transverso do tórax ao nível da cúpula diafragmática direita. O diâmetro transverso do coração foi calculado pela soma do maior segmento obtido na área cardíaca à direita do eixo central e do maior segmento obtido na área cardíaca à esquerda do eixo central (PEREZ *et al*., 2003). Ao ser determinado, na hipótese deste índice ser superior a 0.5, o indício de que o paciente possua a disfunção é extremamente alto. Já em valores deste índice até 0.5, o resultado é considerado normal, ou seja, o coração possui tamanho ideal para determinado paciente. Sendo relevante ressaltar que apenas esse índice não compõe o diagnóstico total, como também a indispensabilidade de realizar outros exames com o propósito de estudos mais detalhados além de confirmar o

resultado anterior. De forma ilustrativa foram apresentados apenas 40 exemplos das imagens radiológicas da base de dados testada no sistema (Tabela 1).

Tabela 1: Resultado do índice cardiotorácico calculado pelo sistema.

Exame	Condição	Índice Cardiotorácico
683_002	Cardiomegalia	0.52
005_005	Saudável	0.38
011_001	Saudável	0.49
728_000	Cardiomegalia	0.62
1157_001	Cardiomegalia	0.57
023_000	Saudável	0.44
047_001	Saudável	0.48
11622_001	Cardiomegalia	0.85
11661_000	Cardiomegalia	0.71
052_000	Saudável	0.39
12509_000	Cardiomegalia	0.78
052_001	Saudável	0.44
073_001	Saudável	0.46
073_008	Saudável	0.49
13830_000	Cardiomegalia	0.51
14365_000	Cardiomegalia	0.82
15425_012	Cardiomegalia	0.57
15882_000	Cardiomegalia	0.60
093_002	Saudável	0.44
16220_004	Cardiomegalia	0.52
16414_000	Cardiomegalia	0.54
16639_000	Cardiomegalia	0.61
110_000	Saudável	0.44
121_005	Saudável	0.42
139_000	Saudável	0.42
16760_000	Cardiomegalia	0.55
146_000	Saudável	0.49

17627_000	Cardiomegalia	0.58
17944_011	Cardiomegalia	0.63
18181_000	Cardiomegalia	0.60
6588_001	Saudável	0.41
6590_000	Saudável	0.41
18204_000	Cardiomegalia	0.61
6602_000	Saudável	0.42
18318_000	Cardiomegalia	0.65
6615_000	Saudável	0.43
28916_000	Cardiomegalia	0.72
769_000	Saudável	0.45
770_000	Saudável	0.49
30173_000	Cardiomegalia	0.85

Como base na tabela 1 descrita, foram demonstrados 40 exemplos do resultado do sistema automático InCardio organizados em duas categorias: saudável e com cardiomegalia. O primeiro ocorre quando o diagnóstico é negativo para a enfermidade, obtendo índice inferior a 0,5, constatando que o paciente possui a silhueta cardíaca de tamanho normal. De forma contrária, o resultado com cardiomegalia acontece quando o índice é superior a 0,5, informando que o tamanho do coração é maior que o indicado para determinado paciente. Com isso, foram utilizadas para os testes um total de 472 radiografias após aplicação dos critérios descritos anteriormente para a seleção das imagens, onde 150 apresentam cardiomegalia e 322 com suspeita de serem saudáveis. Essas imagens foram diagnosticadas corretamente através da técnica proposta, com 138 resultados corretos para a disfunção, com 12 resultados falso negativos e 260 resultados corretos para as saudáveis, com 62 resultados falso positivos.

O índice cardiotorácico também foi referência em Que *et al.* (2018), em que desenvolveram um método para diagnóstico da cardiomegalia com processo de segmentação, na qual obteve bons resultados e, consequentemente, boa averiguação do contorno cardíaco, obtendo 93,75% de acurácia. Os autores utilizaram a mesma base de dados deste presente estudo, porém seus testes foram realizados em 2630

imagens, com padrão 512x512 *pixels* como um conjunto de treinamento para o experimento.

Utilizando uma estratégia nova na etapa de pré-processamento da imagem, a técnica apresentada exibe consideráveis porcentagens de acerto, sensibilidade e especificidade (Tabela 2). O percentual de acerto é a probabilidade da presença da doença quando o teste é positivo e ausência da mesma quando o teste for negativo, calculado por:

$$percentual=(a+d)/total \quad (1.5)$$

A sensibilidade é a probabilidade do resultado positivo em doentes, calculado por:

$$sensibilidade=a/(a+c) \quad (1.6)$$

A especificidade é a probabilidade do resultado negativo nos não doentes, dado por:

$$especificidade=d/(b+d) \quad (1.7)$$

onde “a” é a presença da cardiomegalia em doentes, “b” é a presença em não doentes, “c” é a ausência em doentes e “d” é a ausência em não doentes.

Tabela 2: Resultados quantitativos.

	Doentes	Não Doentes	Total
Positivo	a = 138	b = 62	
Negativo	c = 12	d = 260	
	a+c = 150	b+d = 322	472
Percentual de Acerto	Sensibilidade	Especificidade	
84%	92%	81%	

O sistema desenvolvido neste trabalho foi idealizado para auxiliar os médicos especialistas no reconhecimento da cardiomegalia. O InCardio mesmo dando resultados importantes, podemos observar a ocorrência de 12 imagens classificadas como falso-negativo e 62 imagens como falso-positivo. Essas ocorrências nas imagens com falso-negativo aconteceram devido o sistema posicionar as linhas que são demarcadas na imagem de forma errada, posicionando em *pixels* a mais ou a menos, calculando assim o IC de forma equivocada. Para os falso-positivos existem imagens que foram laudados como pacientes saudáveis, mas que consta na base resultados indefinidos, fazendo com que o sistema venha a se posicionar em relação a uma hipótese do diagnóstico. Mesmo tendo um percentual de 84% de acerto, podemos considerar a sensibilidade de 92% e especificidade 81%, resultados relevantes para a estratégia criada para o InCardio. As melhorias são necessárias para que esses pequenos deslizes no algoritmo não venham ocorrer, mas dentre as 472 imagens analisadas o algoritmo chegou a encontrar de forma assertiva 398 IC nas imagens, confirmando assim o laudo dado pelo especialista da base de dados.

5. CONCLUSÃO

O propósito deste trabalho foi desenvolver um sistema com uma estratégia para extração de características que auxiliasse o médico especialista nos laudos dos exames radiológicos, indicando o índice cardiotorácico encontrado. Desse modo, foi desenvolvido o InCardio, um sistema automático simples e intuitivo, com respostas rápidas e com a realização do cálculo do CTR.

Essa técnica de extração de características precisa ser melhorada apesar de demonstrar bons resultados. Um dos principais problemas encontrados ao longo do processo de desenvolvimento do sistema foi a qualidade da imagem, visto que muitas delas são impossíveis de utilizar por possuírem artefatos e manchas brancas que, mesmo após todo o processamento da radiografia, as mesmas ainda não se tornaram adequadas para a aplicação. Outro ponto negativo identificado na elaboração do InCardio foi durante a etapa de demarcação de diâmetros, em que houve dificuldade ao escolher a melhor tática para a extração correta das características necessárias para o diagnóstico da cardiomegalia.

O InCardio planeja que os especialistas consigam realizar seus trabalhos de forma mais rápida e eficiente, diminuindo tanto o número de mortes por causa dessa patologia além do tempo de espera dos pacientes nos corredores das clínicas e hospitais. Sabendo que o exame de raio-X é um dos mais utilizados para diagnosticar corretamente a cardiomegalia, esse sistema é capaz de facilitar a determinação do parecer médico e, em seguida, direcionar ao segundo passo, caso seja necessário realizar novos exames. É importante ressaltar que o InCardio não substituirá o especialista médico, mas auxiliará em seu diagnóstico, possibilitando determinar uma visão diferenciada da imagem do raio-X, podendo identificar assim outras patologias além da cardiomegalia.

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise de como o sistema pode facilitar esse cálculo e, consequentemente, o diagnóstico da cardiomegalia. Dentre as 398 imagens que foram diagnosticadas com o InCardio, 74 foram resultadas como falsos positivos e falsos negativos. Os falsos negativos ocorreram quando, mesmo após o pré-processamento, permaneceram artefatos na radiografia que provocaram erros no momento de traçar as linhas para demarcação, sendo necessário, para atividades futuras, aprimorar o sistema para que os *pixels* referente ao contorno da região da caixa torácica sejam identificados com precisão,

que por consequência da grande variação nos tons de cinza, dificulta o processo. Já os falsos positivos aconteceram quando o sistema confundiu hilo pulmonar com coração e demarcou equivocadamente resultando em um índice cardiotorácico incorreto.

Dada à importância do assunto, em relação a enfermidade estudada, para o projeto, pretende aprofundar a busca de melhorias, em novas estratégias com as técnicas de processamento de imagens, devido ao grande número de artefatos encontrados na imagem devido o processo de aquisição.

Como trabalho futuro, existe a perspectiva do estudo de novas técnicas de segmentação para melhorar a qualidade da imagem, com o objetivo de conseguir extrair o índice cardiotorácico independente da posição do exame, melhorando ainda mais o auxílio prestado pela ferramenta ao médico especialista.

Após o processo de extração das características na imagem, será formado um vetor com esses atributos para identificar outros tipos de patologias, através de técnicas de classificação de padrões como redes neurais, máquinas de vetores de suporte, permitindo assim realizar um acompanhamento da gravidade da doença pelo especialista.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANESI, F. M.. **Cardiomiopatias.** Arquivos Brasileiros de Cardiologia. vol. 71. n 2. Rio de Janeiro, Aug. 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0066-782X1998000800002>.

ALFARO, T.; MONTEIRO, R.; CORDEIRO, C. R.. **A radiografia de Tórax.** Rev Medic Desp, Coimbra, p.28-29, jan. 2011.

ARRIETA, G. D.; HERNÁNDEZ, M. E. M.; CABRERA, J. H.; PARRA, H. M. R.; VÁZQUEZ, R. A. E.; ARANDA, E. P.; DURO, M. R.; HERRERA, J. G. D.; VELÁZQUEZ, L. D. S.; TORRES, M. A. R.; MARAVILLAS, J. S.; ALVARADO, S. A. O.. **Correlación entre la radiografía de tórax y el ecocardiograma para la valoración de cardiomegalia en pacientes con hipertensión arterial sistémica.** Arch. Cardiol. Méx., México, v. 76, n. 2, abr. 2006.

AZEVEDO, A. C. P.; MOHAMADAIN, K. E. M.; OSIBOTE, O. A.; CUNHA, A. L. L.; FILHO, A. P.. **Estudo Comparativo das Técnicas Radiográficas e Doses entre o Brasil e a Austrália.** Rio de Janeiro, p. 343-346. jan. 2005.

BODANESE, L. C.. **II Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia para o Diagnóstico e Tratamento da Insuficiência Cardíaca.** Salvador, 1998. 30 p.

CALDAS, F. A. A.; ISA, H. L. V. R.; TRIPPIA, A. C.; BÍSCARO, A. C. F. P. J.; SOUZA, E. C. C.; TAJARA, L. M.. **Controle de Qualidade e Artefatos em Mamografia.** Radiol Bras, São José do Rio Preto, p. 295-300, 2005.

CANDEMIR, S.; JAEGER, S.; LIN, W.; XUE, Z.; ANTANI, S.; THOMA, G.. **Automatic heart localization and radiographic index computation in chest x-rays.** Medical Imaging 2016: Computer-Aided Diagnosis, [s.l.], p.1-8, 24 mar. 2016. SPIE. http://dx.doi.org/10.1117/12.2217209.

CANDEMIR, S.; RAJARAMAN, S.; ANTANI, S.; THOMA, G.. **Deep Learning for Grading Cardiomegaly Severity in Chest X-rays: An Investigation.** Usa, p. 109-113. 2018.

CARDIOLOGIA, Sociedade de. **Fatores de Risco No Brasil.** São Paulo. Disponível em: <http://prevencao.socesp.org.br/fatores-de-risco/#.XW0VJXtv_IU>. Acesso em: 02 set. 2019.

CHELLAPILLA, K.; PURI, S.; SIMARD, P.. **High Performance Convolutional Neural Networks for Document Processing.** Guy Lorette. Tenth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition, Oct 2006, La Baule (France), Suvisoft, 2006. <inria-00112631>.

CIRESAN, D. C.; MEIER, U.; MASCI, J.; GAMBARDELLA, L. M.; SCHMIDHUBER, J.. **High-Performance Neural Networks for Visual Object Classification.** Switzerland, p. 1-12. jan. 2011.

COATES, A.; LEE, H.; NG, A. Y.. **An Analysis of Single-Layer Networks in Unsupervised Feature Learning.** Fort Lauderdale, p. 215-223. 2011.

COSTA, F. A.; PÓVOA, R. M. S.; COSTA, A. F. P.; SILVA, M. A. M.; RIVERA, I. R.; FERRO, C. R. C.; OLIVEIRA, A. D.; SÁ, A. M. B.; LIMA, V. C.. **Left ventricular mass and cardiothoracic index in patients with chronic renal disease on hemodialysis.** Jornal Brasileiro de Nefrologia, [s.l.], v. 36, n. 2, p.171-175, 14 abr. 2019. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.5935/0101-2800.20140027

DANZER, S. C.,**"The cardiothoracic ratio: An Index of Cardiac Enlargement.",** The American Journal of the Medical Sciences, vol. 157, ed. 4, pp. 513–554, 1919.

DEXTRO, R. B.. **Doenças do coração**. [*S. l.*], 2006. Disponível em: https://www.infoescola.com/cardiologia/doencas-do-coracao/. Acesso em: 2 set. 2019.

DUONG, M.; TIMONEY, P.; MACNICHOLAS, R.; KITCHEN, J.; MUSTAPHA, M.; ARUNASALAM, U.. **ABC's of Chest X-Rays.** Clinical Medicine. Hong Kong, p. 11-14. 2001.

FEI-FEI, L.; FERGUS, R.; PERONA, P.. **Learning generative visual models from few training examples: An incremental Bayesian approach tested on 101 object categories.** Computer Vision And Image Understanding, [s.l.], v. 106, n. 1, p.59-70, abr. 2007. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.cviu.2005.09.012.

FEREGUETTI, L.. **MATLAB na Engenharia: conheça seus usos e aplicações**. [*S. l.*]: Engenharia 360, 2019. Disponível em: https://engenharia360.com/matlab-na-engenharia-conheca-seus-usos-e-aplicacoes/. Acesso em: 29 out. 2019.

Fonseca, A. U.. **Desenvolvimento de Técnicas de Pré-processamento de Radiografias Digitais de Tórax Infantil.** Goiânia, 2017. 135p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás.

FRANCHINI, K. G. **Hipertrofia cardíaca: mecanismos moleculares.** Rev Bras Hipertens, Campinas, p.125-142, 2001.

GILAT, A.. **MATLAB com Aplicações em Engenharia**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 416 p.

GONÇALVES, F. G. M.. **Análise do Erro Durante a Realização de Radiografias Digitais em Situação de Urgência: Estudo Comparativo entre dois hospitais.** 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ergonomia na Segurança no Trabalho, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento Digital de Imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2010. 644 p. ISBN 978-85-8143-586-2.

GOMES, B.. **Cardiomegalia - Imagens**. [*S. l.*], 2011. Disponível em: http://estudosdebiologia2011.blogspot.com/2011/07/cardiomegalia-imagens.html. Acesso em: 14 abr. 2019.

GRAÇA, R. F. P. S. O.. **Segmentação de Imagens Torácicas de Raio-X.** 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Informática, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2012.

ISHIDA, T.; KATSURAGAWA, S.; CHIDA, K.; MACMAHON, H.; DOI, K.. **Computer-aided diagnosis for detection of cardiomegaly in digital chest radiographs.** Medical Imaging 2005: Image Processing, [s.l.], 29 abr. 2005. SPIE. http://dx.doi.org/10.1117/12.595755.

JUNIOR, J. S. S.. **O que são os raios X?** 2019. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-sao-os-raios-x.htm>. Acesso em: 19 set. 2019.

KURIKI, P.. **O que significa raio X tórax PA? Aprenda tudo o que você precisa saber!**. São Paulo, 2017. Disponível em: https://diagrad.com.br/noticias/o-que-significa-raio-x-torax-pa/. Acesso em: 30 out. 2019.

LE, K.. **A Design Of a Computer-Aided Diagnostic Tool for Chest X-Ray Analysis.** International Journal Of Computer Science & Information Technology. Bruce, p. 212-222. abr. 2011.

LEONARD, J.. **What to know about cardiomegaly.** Revisado em 12 January 2018. NEWSLETTER Medical New Today. Disponível em: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/320591.php>. Acesso em: 14 abr. 2019.

LIMA, A. L.. **Coração grande (cardiomegalia): o que é, sintomas, causas e tratamento.** 2019. Disponível em: <https://www.tuasaude.com/coracao-grande/>. Acesso em: 19 set. 2019.

LOPES, E. S. S.; NAMIKAWA, L. M.; BRUNO, R. L. S.. **Teoria : Processamento de Imagens**. [*S. l.*], [entre 2009 e 2019]. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/teoria/realce/realce.htm. Acesso em: 7 nov. 2019.

MAGALHÃES, L.. **Coração humano**. Toda Matéria, 2018. Disponível em: https://www.todamateria.com.br/coracao/. Acesso em: 1 nov. 2019.

MANKAD, R.. **Dilated cardiomyopathy**. [*S. l.*], 2018. Disponível em: https://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/dilated-cardiomyopathy/symptoms-causes/syc-20353149. Acesso em: 14 abr. 2019.

MATSUNAGA, V. Y.. **Curso de Redes Neurais utilizando o MATLAB.** Belém: 2012. 22 p.

MATTOS, B. P. E.; ZAGO, A. J.. **Miocardiopatia dilatada: estudo das formas iniciais.** Arq. bras. cardiol, [*s. l.*], p. 393-402, dez 1986.

MCANDREW, A.. **An Introduction to Digital Image Processing with Matlab.** Victoria: 2004. 264 p.

MCBEE, M. P.; AWAN, O. A.; COLUCCI, A. T.; GHOBADI, C. W.; KADOM, N.; KANSAGRA, A. P.; TRIDANDAPANI, S.; AUFFERMANN, W. F. **Deep Learning in Radiology.** Radiology Research Alliance. Philadelphia, p. 1-12. 4 nov. 2018.

MEIRELLES, G. S. P. **Radiografia simples do tórax: incidências, aspectos técnicos e sistematização da análise.** 2019. Pneumoatual, São Paulo, p.1-12.

MILL, J. G.; VASSALLO, D. V. **Hipertrofia cardíaca.** Rev Bras Hipertens, Vitória, v. 1, n. 1, p.63-75, 2001.

MORSCH, J. A.. **Interpretação de raio X: princípios básicos para interpretar radiografia**. Porto Alegre, 2018. Disponível em: https://telemedicinamorsch.com.br/blog/interpretacao-de-raio-x. Acesso em: 30 out. 2019.

NIH, Database. National Institutes Of Health. **NIH Database of 100,000 Chest X-Ray images, associated data, and diagnoses.** 2017. Disponível em: <http://www.aylward.org/notes/open-access-medical-image-repositories>. Acesso em: 04 set. 2019.

OLIVEIRA, D. A.B., ALBUQUERQUE, M. P.; MACEDO, M.M.G; ALBUQUERQUE, M. P.; PINA, D. R.; DUARTE, S.. **Calibração de Aparelhos de Raio-X em Imagens de Tomografia de Crânio e Tórax.** Porto, p. 1-9. jun. 2007.

OPAS (Brasil). OMS. **Doenças cardiovasculares**. 2017. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5253:doencas-cardiovasculares&Itemid=1096. Acesso em: 23 set. 2019.

OSIBOTE, A. O.; AZEVEDO, A. C. P.; CARVALHO, A. C. P.; KHOURY, H. J.; OLIVEIRA, S. R.; SILVA, M. O.; MARCHON, C.. **Exposição de Pacientes e Qualidade da Imagem em Radiografias de Tórax: Uma Avaliação Crítica*.** Rio de Janeiro, p. 119-122. set. 2006.

PARK, M.; JIN, J. S.; WILSON, L. S.. **Detection of Abnormal Texture in Chest X-rays with Reduction of Ribs**. Pan-sydney Area Workshop On Visual Information Processing. Sydney, p. 1-4. 2004.

PEREZ, A. A.; RIBEIRO, A. L. P.; BARROS, M. V. L.; SOUSA, M. R., BITTENCOURT, R. J.; MACHADO, F. S.; ROCHA, M. O. C.. **Valor do Estudo Radiológico do Tórax no Diagnóstico de Disfunção Ventricular Esquerda na Doença de Chagas.** Arq Bras Cardiol, Belo Horizonte, v. 80, n. 2, p.202-207, 2003.

PINHO, S. R.; COUTO, R. M. F.. **Equalização e modificação de histogramas.** Porto, p. 1-15, 2005.

PISCO, J. M.; SALDANHA, J.; RAPOSO, J. S.. **Valor da Radiografia Simples do Tórax no Diagnóstico das Cardiopatias.** Acta Medica Portuguesa, Lisboa, v. 1, n. 5, p.179-188, 1984.

PLANETA, Editorial et al. **Nova Enciclopédia Barsa.** São Paulo: Câmara Brasileira do Livro, 1999.

QUE, Q.; TANG, Z.; WANG, R.; ZENG, Z.; WANG, J.; CHUA, M.; GEE, T. S.; YANG, X.; VEERAVALLI, B.. **CardioXNet: Automated Detection for Cardiomegaly Based on Deep Learning.** Singapore, p. 612-615, 2018.

RAJPURKAR, P.; IRVIN, J.; ZHU, K.; YANG, B.; MEHTA, H.; DUAN, T.; DING,D.; BAGUL, A.; LANGLOTZ, C.; SHPANSKAYA, K.; LUNGREN, M. P.; NG, A. Y.. **CheXNet: Radiologist-Level Pneumonia Detection on Chest X-Rays with Deep Learning.** Stanford, p. 1-7. dez. 2017.

SANTOS, V. S.. **Coração humano**. Brasil Escola, 2018. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/biologia/coracao-humano.htm. Acesso em: 1 nov. 2019.

SANTOS, V. T.. **Segmentação de Imagens Mamográficas para Detecção de Nódulos em Mamas Densas**. 2002. Dissertação (Mestre em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. f. 121.

SEMSARIAN, C.; INGLES, J.; MARON, M. S.; MARON, B. J.. **New Perspectives on the Prevalence of Hypertrophic Cardiomyopathy.** Journal Of The American College Of Cardiology, [s.l.], v. 65, n. 12, p.1249-1254, mar. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jacc.2015.01.019.

SILVA, F.J.V.; ALVES, C.H.F.. **Aplicação de Técnicas de Processamento de Imagens Digitais em Imagens Geradas por Ultra-Som.** In: Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional, 8., 2008, Natal. Rio de Janeiro, 2008. p. 1 - 5.

SILVA, J. D. D.. **Repercussões da cardiomegalia na distribuição regional da ventilação na caixa torácica em indivíduos com cardiopatia chagásica crônica.** 2011. 31 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Fisioterapia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

SILVA, J. D. D; LIMA, C. S. F. R.; REINAUX, C. M. A.; BRANDÃO, D. C.; ANDRADE, A. D.. **Repercussões da cardiomegalia na função pulmonar de indivíduos adultos com insuficiência cardíaca crônica: uma Revisão Sistemática.** Fisioterapia e Pesquisa, Recife, v. 18, n. 1, p.84-91, nov. 2010.

SINGH, R.; KALRA, M. K.; NITIWARANGKUL, C.; PATTI, J. A.; HOMAYOUNIEH, F.; PADOLE, A.; RAO, P.; PUTHA, P.; MUSE, V. V.; SHARMA, A.; DIGUMARTHY, S. R. (2018) **Deep learning in chest radiography: Detection of findings and presence of change.** PLoS ONE 13(10): e0204155. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204155

SOUZA, J. R. M.; FRANCHINI, Kleber Gomes; JUNIOR, Wilson Nadruz. **Hipertrofia ventricular esquerda: o caminho para a insuficiência cardíaca.** Rev Bras Hipertens, Campinas, v. 15, n. 2, p.71-74, 2008.

THIBODEAU, G. A.; PATTON, K. T.. **Estrutura e Funções do Corpo Humano.** 11. ed. Barueri: Manole, 2002.

THPANORAMA. **Sintomas de Cardiomegalia, Classificação, Causas e Tratamento.** Disponível em: <https://pt.thpanorama.com/blog/ciencia/cardiomegalia-sntomas-clasificacin-causas-y-tratamiento.html>. Acesso em: 14 abr. 2019.

TORRES-ROBLES, F.; ROSALES-SILVA, A. J.; GALLEGOS-FUNES, F. J.; BAZÁN-TRUJILLO, I.. **A robust neuro-fuzzy classifier for the detection of cardiomegaly in digital chest radiographies.** Dyna, [s.l.], v. 81, n. 186, p.35-35, 25 ago. 2014. Universidad Nacional de Colombia. http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v81n186.37797. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000400004>. Acesso em: 04 set. 2019.

TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B.. **Corpo Humano:** Fundamentos de Anatomia e Fisiologia. 10. ed. São Paulo: Artmed, 2017.

VICTORICA, B. E.. **Avaliação da Radiografia de Tórax.** Disponível em: <http://www.bibliomed.com.br/bibliomed/books/livro8/cap/cap02.htm>. Acesso em: 30 ago. 2019.

WANG, X.; PENG, Y.; LU, L.; LU, Z.; BAGHERI, M.; SUMMERS, R.. **ChestX-ray8: Hospital-scale Chest X-ray Database and Benchmarks on.** Weakly-Supervised Classification and Localization of Common Thorax Diseases. Bethesda, p.1-12, dez. 2017.

WISSLER, R.. **Radiografia (Raios-X Simples)**. [*S. l.*], 2011. Disponível em: http://www.radiacao-medica.com.br/tipos-de-imagens-medicas/raios-x/radiografia-raios-x-simples/. Acesso em: 30 abr. 2019.