



**FUNDAÇÃO
UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
MATO GROSSO DO SUL**

**FACULDADE DE ENGENHARIAS,
ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA**

ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO INICIAL DE UM LEITOR DE RADIOGRAFIA COMPUTADORIZADA
(CR) PARA NACIONALIZAÇÃO DA TECNOLOGIA**

AMANDA MARTINS ANTUNES

Campo Grande MS
10 de julho de 2021



**FUNDAÇÃO
UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
MATO GROSSO DO SUL**

**FACULDADE DE ENGENHARIAS,
ARQUITETURA E URBANISMO E
GEOGRAFIA**

ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO INICIAL DE UM LEITOR DE RADIOGRAFIA COMPUTADORIZADA
(CR) PARA NACIONALIZAÇÃO DA TECNOLOGIA**

AMANDA MARTINS ANTUNES

Orientador: João Onofre Pereira Pinto

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, como requisito final para obtenção do título de Engenheira Eletricista.

Campo Grande MS
10 de julho de 2021

ESTUDO INICIAL DE UM LEITOR DE RADIOGRAFIA COMPUTADORIZADA (CR) PARA NACIONALIZAÇÃO DA TECNOLOGIA

Monografia apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, para obtenção da Graduação em Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. João Onofre Pereira Pinto
Orientador

Prof. Dr. Marcio Luiz Magri Kimpara

Eng. Daniel Duarte Dittmar

Campo Grande MS
10 de julho de 2021

DECLARAÇÃO DE AUTORIA E RESPONSABILIDADE

AMANDA MARTINS ANTUNES, residente e domiciliado na cidade de Campo Grande, Estado do Mato Grosso do Sul, portador do RG de nº 2146653-0 e CPF nº 046.932.431-75, declaro que o **“Trabalho de Conclusão de Curso”** apresentado, com o título **“ESTUDO INICIAL DE UM LEITOR DE RADIOGRAFIA COMPUTADORIZADA (CR) PARA NACIONALIZAÇÃO DA TECNOLOGIA”** é de minha autoria e assumo a total responsabilidade pelo seu conteúdo e pela originalidade do texto. Declaro que identifiquei e referenciei todas as fontes e informações gerais que foram utilizadas para construção do presente texto. Declaro também que este trabalho não foi publicado, em parte, na íntegra ou conteúdo similar em outros meios de comunicação, tendo sido enviado com exclusividade para a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Campo Grande, 10 de julho de 2021.

AMANDA MARTINS ANTUNES

"Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes."

"Todo mundo é um gênio. Mas, se você julgar um peixe por sua capacidade de subir em uma árvore, ela vai gastar toda a sua vida acreditando que ele é estúpido. "

(Albert Einstein)

Agradeço primeiro a DEUS pela realização deste trabalho, por ter me dado forças, coragem, paciência e inteligência para superar os momentos difíceis. Agradeço também meus pais Judith e Juracy, minha irmã e Renata e toda minha família.

Agradeço a minha família, meus pais Judith e Juracy, minha irmã Renata, aos meus tios, primos e amigos pela força recebida, pelas orações, carinho e compreensão de todos e peço perdão por estar ausente em vários momentos importantes, em especial agradeço principalmente a minha prima Samira, as minhas amigas Lavínia e Ligiani por me ligarem tantas vezes para saber como eu estava ou mesmo só para poder me ouvir, vocês me ajudaram muito ao longo desses anos longe de todos.

Agradeço também a minha “família de Campo Grande”, a Dona Cleusa que me acolheu logo quando eu cheguei nesta cidade e toda sua família, agradeço a minha amiga Vitória por tantas vezes por ter estado ao meu lado, seja pra chorar ou estudar, a minha amiga/mãe adotiva na maior parte do tempo Amanda Barreto e toda a sua família, não poderia me esquecer também de minha amiga Beatriz, que é uma das pessoas mais gentis e fofas que eu conheci ao longo desses anos de graduação.

Agradeço de modo especial a meu Orientador Professor Dr. **João Onofre Pereira Pinto** pelo apoio, dedicação e incentivo nos momentos mais difíceis, por estar sempre acreditando no meu potencial como acadêmica e como pessoa. Muito obrigada.

Ao prof. Dr. **Marcio Luiz Magri Kimpapa** por todos os conselhos, suporte e compreensão, e por muitas vezes ter acreditado nas ideias mais absurdas que eu sugeri para realização deste trabalho, graças a sua ajuda pude também aprender muito neste período. Aos membros da banca, pela dedicação e por aceitarem o convite na realização desse trabalho.

Agradeço também aos professores Drs. Paulo Koltermann, Nicolau Pereira e Cristiano Andrea por todos os conselhos, broncas e puxões de orelha e por acreditarem em mim até mesmo quando nem eu mesma era mais capaz de acreditar.

Não poderia esquecer de agradecer ao engenheiro eletricitista **Roberto Kazuo Kakunaka** que aceitou me apoiar nesse projeto oferecendo o equipamento estudado em sua empresa para a minha pesquisa, por ter acreditado na minha capacidade, me orientado e aconselhado ao longo deste período.

LISTA DE IMAGENS

Figura nº 01: Primeira imagem de Raio-X.....	22
Figura nº 02: Processo de captura de imagem radiológica.....	23
Figura nº 03: Professor Rafael de Barros.....	24
Figura nº 04: Professor Duque Estrada.....	24
Figura nº 05: Primeira aula, processadora, placa e ampola.....	25
Figura nº 06: Professor Nicola Casal Caminha.....	26
Figura nº 07: Linha do tempo do Raio-X.....	28
Figura nº 08: CR <i>Fire</i> , vista explodida do equipamento.....	30
Figura nº 09: Partes mecânicas CR, detalhamento 1.....	31
Figura nº 10: Partes mecânicas CR, detalhamento 2.....	31
Figura nº 11: Partes mecânicas CR, detalhamento 3.....	32
Figura nº 12: Partes mecânicas CR, detalhamento 4.....	33
Figura nº 13: Placa ótica <i>laser</i>	34
Figura nº 14: Vista superior IP.....	35
Figura nº 15: Vista traseira IP.....	35
Figura nº 16: Vista da parte inferior do CR <i>FireSpark 70</i>	36
Figura nº 17 : <i>FireSpark 70</i> parcialmente desmontado.....	37
Figura nº 18: Vista das partes responsáveis pelo deslocamento do IP.....	37
Figura nº 21: Motor de passo e a velocidade de leitura do IP.....	41
Figura nº 22: Placa PMT <i>FireSpark 70</i>	42
Figura nº 23: Leitura de uma imagem radiológica.....	42
Figura nº 24: Tubo PMT <i>FireSpark 70</i>	43
Figura nº 25: Feixe de fibra ótica <i>FireSpark 70</i>	45
Figura nº 27: Sensores da PSD.....	47
Figura nº 28: <i>Interconnect board</i> ou Placa de Interconexão.....	48
Figura nº 29: <i>Front board</i> ou placa frontal.....	49
Figura nº 30: Placa <i>RFID</i>	49
Figura nº 31: Placa apagadora.....	50
Figura nº 32: Placa BLDC.....	51
Figura nº 33: Main Board <i>FireSpark70</i>	51
Figura nº 34: Identificação do posicionamento das <i>TAGs RFID</i> do equipamento.....	52
Figura nº 35: Classificação das <i>TAGs</i> de acordo com o modelo do CR.....	52

Figura nº 36: Modelo 1.....	53
Figura nº 37: Modelo 2.....	53
Figura nº 39: Imagem real do 3600.....	55
Figura nº 40: Desenho do equipamento 3600 LF.....	55
Figura nº 41: Visão fechada do 3600 LF.....	56
Figura nº 42: Vista explodida CR 3600.....	57
Figura nº 43: Sistema elétrico-digital manual família ICRco.....	58
Figura nº 44: Vista inferior 3600, identificando o conjunto de espelhos fixos.....	58
Figura nº 45: Vista frontal do conjunto espelho/galvo em manutenção.....	59
Figura nº 46: CR 3600 parcialmente desmontado na parte superior.....	59
Figura nº 47: CR modelo <i>Chrome</i>	60
Figura nº 48: Conjunto Galvo, <i>laser</i> e espelho menor.....	60
Figura nº 49: Identificação dos espelhos do CR <i>Chrome</i>	61
Figura nº 50: Vista superior do tubo fotomultiplicador.....	61
Figura nº 51: Funcionamento de um tubo fotomultiplicador.....	62
Figura nº 52: Placa Galvanométrica.....	64
Figura nº 53: Placa indicadora vista superior.....	65
Figura nº 54: Placa indicadora vista lateral.....	65
Figura nº 55: Placa PMT de um CR 3600.....	65
Figura nº 56: Placa PDB.....	66
Figura nº 57: Placa apagadora da família CR <i>Chrome</i>	66
Figura nº 58: Placa de controle do motor.....	67
Figura nº 59: +24V <i>Eraser Power Supply</i>	67
Figura nº 60: Algumas placas do CR <i>Chrome</i>	68
Figura nº 61: Identificação das placas do CR <i>Chrome</i>	69
Figura nº 63: Simulação leitura IP básica <i>FireSpark 70</i>	77
Figura nº 64: Simulação leitura IP básica <i>FireSpark 70</i> , representação entradas e saídas.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabelanº 01: comparativo partes mecânicas.....	70
Tabela nº 02: comparativo circuitos eletroeletrônicos.....	72
Tabela nº 03: comparativo de calibração.....	73
Tabela nº 04: comparativo de método de leitura.....	73
Tabela nº 05: comparativo de funcionamento de <i>software</i>	74

LISTA DE ABREVIATURAS

ACR: American College Of Radiology

A/D: conversor de sinal analógico em digital

BLDC: Brushless DC

CC: Corrente contínua

CCD: Charge Coupled Device

CMOS: Complementary Metal Oxide Silicon

CR: radiografia computadorizada

DC: Direct Current

DDA: Digital Detector Array

DICOM: Digital Imaging and Communications in Medicine

DR: Direct radiography

FPGA: Field Programmable Gate Array, em português "Arranjo de Portas Programáveis em Campo"

HD: High definition

IP: Image Plate

LED: Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)

NEMA: National Electrical Manufacturers Association

PET/CT ou PET/TC: Positron Emission Tomography – Computed Tomography

PET/RM: Positron Emission Tomography Coupled with Magnetic Resonance

PCB: Printed Circuit Board

PDB: Power distribution board

PMT: Photomultiplier tubes

PSD: *Position Sensitive Detector*

RFID: Radio-Frequency IDentification

SD: Secure Digital Card

SPR: Sociedade Paulista de Radiologia e Diagnóstico

TAG: Etiqueta

TFT: Thin Film Transistor

TIFF: Tagged Image File Format

BMP ou BITMAP: Mapa de bits

JPEG: Joint Photographics Experts Group

USB: Universal Serial Bus

Pixel = Picture Element

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Figura nº 19: Fluxograma geral 1.....	39
Figura nº 20: Fluxograma quando o cassete é inserido no CR.....	40
Figura nº 26: Fluxograma de Calibração do <i>FireSpark 70</i>	46
Figura nº 62: Fluxograma funcionamento do CR <i>Chrome</i>	69

LISTA DE DIAGRAMA

Figura nº 38: Diagrama de funções <i>FireSpark 70</i>	55
---	----

RESUMO

O presente trabalho teve como motivação de pesquisa, o estudo inicial do leitor de radiografia CR *FireSpark 70* de origem sul coreana, e comercializado em território brasileiro há poucos anos. A escolha por este equipamento se deve ao fato de possuir uma tecnologia superior a outros equipamentos encontrados no país, e o objetivo é levantar as partes principais que compõe tal equipamento e compreender seu diagrama funcional visando o futuro desenvolvimento de um protótipo com tecnologia nacional. Foram estipuladas como metas a esquematização do funcionamento global do aparelho e o desenvolvimento de simulações iniciais de linguagem de máquina, responsáveis pela operação do aparelho utilizando o *software* MATLAB. A pesquisa aqui retratada apresenta como principal diferencial em relação aos trabalhos existentes nesta área, um detalhamento técnico e apresentação dos elementos principais que compõem o objeto de estudo, descrição dos métodos de operação e calibração, e um comparativo com dados técnicos de outros dois aparelhos de tecnologia CR de outro fabricante. Para desenvolver este trabalho foram realizados estudos dos manuais de cada fabricante, pesquisas aprofundadas a respeito de cada tópico, além da realização de experimentos e/ou ensaios feitos com os aparelhos. Como resultado, pode-se generalizar o funcionamento do CR *FireSpark 70* por meio de fluxogramas que descrevem o funcionamento de diversas partes que constituem o mesmo. Além disso, foi desenvolvida uma simulação do fluxograma principal utilizando a ferramenta Stateflow do MATLAB que servirá de base para o desenvolvimento do código a ser embarcado em um processador digital de sinais.

Palavras-Chave: Radiografia Computadorizada, Fibra Ótica, *FireSpark 70* e Raio-X.

ABSTRACT

The present work has as research motivation, the initial study of the CR FireSpark 70 radiograph scanner, of South Korean origin, marketed in Brazilian territory a few years ago. The choice of this equipment is due to the fact that it has a superior technology compared to other equipment found in the country, and the objective is to investigate the main parts that make up such equipment and understand its functional diagram aiming at the future development of a prototype with national technology. The goals set out to design the overall functioning of the device and the development of initial machine language simulations, responsible for operating the device using the MATLAB software. The research presented here, has as its main differential in relation to existing work on digital radiology devices, a technical detailing and presentation of all the parts that compose the object of study, description of operation and calibration methods, and a comparison with technical data from two other CR technology devices from another manufacturer. To develop this work, studies were carried out in the manuals of each manufacturer, more in-depth research on each topic, in addition to carrying out experiments and/or tests carried out with the devices. As a result, it is possible to generalize the functioning of CR FireSpark 70 through flowcharts that describe the functioning of the various parts that constitute it. In addition, it has been developed a simulation of the main flowchart using the Stateflow tool from MATLAB which will be the basis to develop the code to be embedded in the microcontroller.

Keywords: Computed Radiography, Fiber Optic, FireSpark 70 and X-Ray.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.2	OBJETIVOS.....	18
1.2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.3	MOTIVAÇÃO.....	19
1.4	METODOLOGIA.....	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1	RAIO-X NO BRASIL.....	22
2.2	RADIOGRAFIA CONVENCIONAL.....	25
2.2	RADIOGRAFIA DIRETA (<i>DIRECT RADIOGRAPHY</i> -DR).....	27
3	EQUIPAMENTO FIRE CR – DIGIRAY.....	29
3.1	PLACAS DE CIRCUITOS ELETROELETRÔNICOS DO CR <i>FIRES</i> PARK 70.....	32
3.2	FIBRA ÓTICA UTILIZADA NA AQUISIÇÃO DE IMAGENS.....	41
3.3	EQUIPAMENTO <i>CHROME</i> E 3600 CR ICRco.....	53
3.3.1	TUBOS FOTOMULTIPLICADORES.....	60
3.3.2	CIRCUITOS ELETROELETRÔNICOS CR 3600 e <i>CHROME</i>	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	69
4.1	SIMULAÇÃO MÁQUINA DE ESTADOS FINITOS.....	75
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
	REFERÊNCIAS.....	81
	APÊNCICES.....	84

1 INTRODUÇÃO

O exame de Raio-X ou radiografia, é um exame bastante tradicional que funciona usando radiação em doses baixas (no caso de exames sem fluoroscopia) para produzir imagens de áreas internas do organismo. Por ser um exame não-invasivo, de baixo custo e rápido, é muito utilizado na investigação de uma série de doenças ou anormalidades na estrutura do corpo.

Na sua forma mais básica, este exame pode ser realizado posicionando o paciente, ou a região de interesse, entre um emissor de Raio-X e uma placa receptora composta por uma espécie de filme. O Raio-X então atravessa o corpo com maior ou menor dificuldade, dependendo da densidade da área analisada, e com isso projeta uma imagem no filme. Entretanto, para que seja possível obter a imagem, é necessário “revelar” este filme. Isso pode ser feito por meio de diferentes tecnologias, sendo uma delas a chamada radiografia computadorizada (CR).

Esta tecnologia tem diversas vantagens em relação ao método tradicional, entretanto requer o uso de equipamento eletrônico para fazer a leitura da placa e gerar a imagem em um computador. Atualmente os equipamentos que realizam esta tarefa são todos importados, ou seja, não houve investimento para que o Brasil pudesse desenvolver este tipo de aparelho com tecnologia nacional.

Portanto, como foco principal deste trabalho, tem-se o desenvolvimento de um estudo sobre as características, funcionamento geral e apresentação de alguns métodos de generalização da operação de um equipamento responsável por fazer a leitura/scanner de placa de fósforo, que “capta” a imagem radiológica após a exposição do paciente ao emissor de Raio-X. Este estudo é a etapa inicial para o projeto de um equipamento com tecnologia nacional e, portanto, tem como contribuição a apresentação de um fluxograma geral de funcionamento do aparelho, um fluxograma geral de uso/operação e detalhamento técnico tendo como base um equipamento comercial, o *FireSpark 70*.

Para a elaboração deste trabalho, foram realizados alguns ensaios e testes mecânicos, além da abertura do *FireSpark 70* para maior compreensão do funcionamento geral do mesmo. Foi feito também o levantamento de todas as placas de circuitos eletroeletrônicos que constituem o equipamento, além da descrição geral do funcionamento das mesmas.

Apesar do interesse e os esforços que estão sendo aplicados para a produção destes equipamentos no país, ao fim deste estudo pode-se definir alguns parâmetros iniciais para esse processo, pois ainda não existe tecnologia suficiente que possa ser empregada na fabricação do aparelho, mas pode-se por exemplo, desenvolver todo o circuito eletroeletrônico e em parceria com outros países, desenvolver as placas de circuito impresso a um custo razoável e realizar toda a montagem do aparelho em território brasileiro.

A atividade de desenvolvimento de um novo produto não é tarefa simples, requer pesquisa, planejamento e análises criteriosas por métodos sistemáticos. Logo o estudo apresentado neste trabalho é fundamental para a compreensão dos requisitos necessários. Além disso, foram analisados também alguns modelos de CRs com métodos de leitura e velocidade de aquisição de imagens diferentes do *FireSpark 70*, com o objetivo de elencar as vantagens que este leitor apresenta em relação aos demais concorrentes existentes no mercado, podendo ser citado, por exemplo, a redução de espaço e a velocidade na aquisição de imagens proporcionada pela utilização de fibras óticas.

Após as observações e testes com o aparelho, foi elaborada uma simulação simples do funcionamento geral do equipamento, utilizando os conceitos de máquinas de estado. A simulação foi desenvolvida no *software* MATLAB e servirá de suporte em estudos posteriores para desenvolvimento de códigos fonte do aparelho.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo inicial para compreender toda a arquitetura e o funcionamento do leitor de radiografia computadorizada (CR) com o intuito de realizar simulações de seu funcionamento e em etapas futuras, ser capaz de construir um equipamento com tecnologia similar.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos podem ser resumidos em:

- Levantamento das partes principais que compõem o leitor de raio-X;
- Analisar a arquitetura dos circuitos eletrônicos que constituem o CR;
- Elaborar fluxograma operacional;
- Montar simulações da estrutura com *software* MATLAB;
- Fazer um comparativo entre equipamentos similares de fabricantes diferentes.

1.3 MOTIVAÇÃO

Exames radiológicos são, e continuarão sendo, um grande aliado em diagnósticos clínicos, seja de pacientes humanos ou em atendimentos veterinários. Desta forma, nota-se uma demanda do mercado industrial pela fabricação e comercialização de aparelhos que permitem a realização destes exames. Entretanto, apesar do exame radiológico ser um dos métodos mais antigos e corriqueiros para investigação interna de pacientes, o Brasil ainda não possui tecnologia suficiente para desenvolvimento e produção local em massa destes equipamentos.

Existe o interesse de empresas do setor privado do ramo eletromédico na fabricação e comércio do equipamento estudado, porém devido à falta de investimento histórico nesta área, é necessário antes de tudo, criar maturidade tecnológica a partir do estudo de equipamentos existentes no mercado exterior.

1.4 METODOLOGIA

Nessa pesquisa será utilizar o método hipotético-dedutivo, segundo Lakatos e Marconi (2003, p. 95) com sendo:

Para Karl R. Popper, o método científico parte de um problema (P1), ao qual se oferecesse uma espécie de solução provisória, uma teoria-tentativa (TT), passando-se depois a criticar a solução, com vista à eliminação do erro (EE) e, tal como no caso da dialética, esse processo se renovaria a si mesmo, dando surgimento a novos problemas (P2). Posteriormente, diz o autor, "condensei o exposto no seguinte esquema:

P₁_____ TT_____ EE_____ P₂

Então a teoria parte do pressuposto de que existe um problema será utilizado uma provável resposta que será submetida a análise e/ou críticas e partir disso surgem novas teorias, além de propor novas interpretações sobre o assunto que provocarão novos estudos e ampliação do conhecimento aos envolvidos.

Na primeira fase desse trabalho foi realizado um levantamento bibliográfico sobre o objeto na forma de leituras em livros, manuais técnicos e trabalhos acadêmicos relacionados que abordem o equipamento leitor de radiografia computadorizada.

Em seguida foi feito um levantamento das partes que constituem o equipamento por meio de observações empíricas durante os procedimentos de manutenção e dos resultados da referência bibliográfica. A partir da compreensão dos mecanismos e circuitos eletrônicos necessários para o funcionamento, bem como através de testes experimentais de leitura do cassete, foi possível elaborar alguns fluxogramas que descrevem a operação do leitor de raio-x escolhido para estudo. Os fluxogramas são uma importante base para a elaboração do código fonte a ser embarcado na placa principal de controle.

Por fim, utilizando os conhecimentos obtidos na etapa de identificação dos elementos do sistema foi feito um comparativo entre diferentes fabricantes para analisar as possibilidades de engenharia a fim de construir futuramente um equipamento robusto, de boa qualidade e preço acessível.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A descoberta do Raio-X é datada no dia 8 de novembro de 1895, pelo pesquisador Wilhelm Conrad Röntgen, isso ocorreu em consequência das tentativas do mesmo, em ser capaz de observar a radiação eletromagnética de alta frequência. Para isso Röntgen realizou experimentos com um tubo de Crookes, que se trata do experimento de Joseph John Thompson, conforme mostra Lima et.al. (2009, p. 01):

Röntgen tentou observar um estranho fenômeno descrito pelo físico Philipp Lenard [1862-1947]: os raios catódicos que escapavam do tubo termiônico iluminavam uma superfície a uma certa distância do tubo, que tinha recebido uma camada de material fosforescente.

Após a replicação do tubo de Crookes, Röntgen começou a fazer diversos testes com o mesmo, como recobri-lo com papelão, além de utilizar o mesmo em um ambiente escuro, e a partir de então, pôde observar que uma placa tratada com tetracianoplatino (II) de bário $\text{Ba}[\text{Pt}(\text{CN})_4]$, acabou se “iluminando” em reação aos raios incididos sobre ela.

Em consequência das observações feitas pelo próprio pesquisador, pode-se descrever sua descoberta como, ainda em Lima et.al. (2009, p. 01), explica que:

Ela produzia luminescência em certos materiais fluorescentes, sensibilizava chapas fotográficas, mas em si era invisível ao olho humano, não parecia sofrer refração, nem reflexão, nem polarização. Não se tratava de luz (por ser invisível e atravessar grandes espessuras de madeira ou papel), não era igual aos raios catódicos (não sofria desvio com ímãs e tinha poder de penetração muito superior), nem aos raios ultravioletas ou infravermelho (pelo seu poder de penetração).

A partir de então, Röntgen percebeu que havia feito uma descoberta sobre um tipo desconhecido de luz, por conta disso, realizou diversos experimentos com vários tipos de metais e diferentes espessuras. Em um destes experimentos, enquanto segurava uma dessas peças de metal com as mãos, em direção a ampola e existindo uma placa tratada com material fosforescente próxima aos experimentos, notou-se que uma imagem com os ossos da mão, surgiram nessa mesma placa.

No dia 22 de dezembro de 1895, Röntgen cria uma fotografia histórica sobre sua descoberta, um Raio-X da mão de sua esposa, a senhora Anna Bertha Röntgen (1839-1919), surge assim a primeira radiografia do mundo. Röntgen batizou sua

descoberta como “Raio-X” por não saber de onde surgia, ou quais as perspectivas da mesma, posteriormente recebeu o nome de raios Röntgen na figura nº 01.

Figura nº 01: Primeira imagem de Raio-X

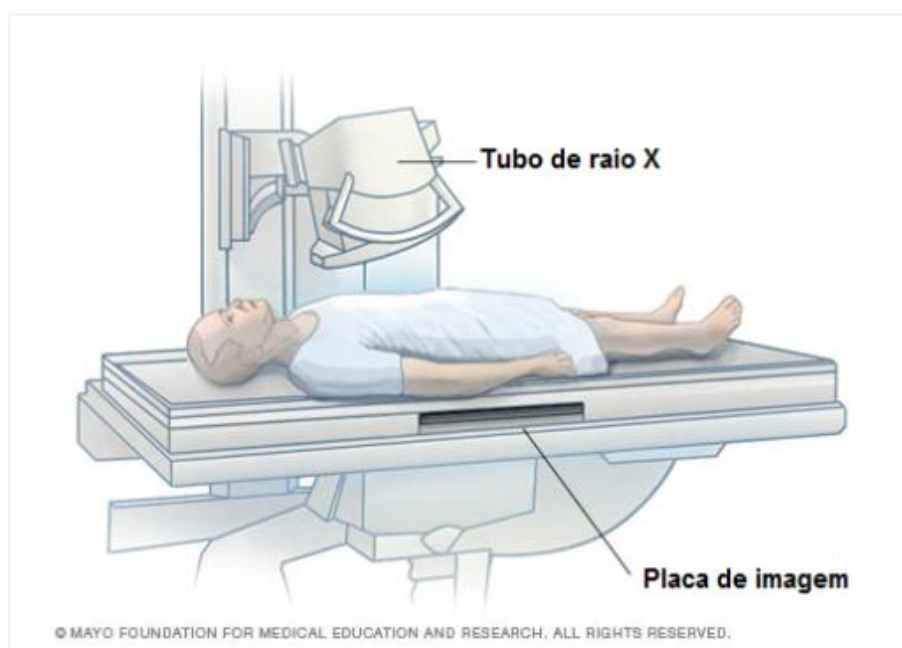


Fonte: Wilhelm Conrad Röntgen (1895)

Após mais de um século de estudos, sabe-se que os Raio-X tratam-se de radiações eletromagnéticas que possuem uma grande quantidade de energia, que surge de transições eletrônicas á nível molecular, essas interações podem ser causadas por: interações nucleares ou por freamento. A descoberta de Röntgen, possui um comprimento de onda mil vezes menor que o da luz visível.

O processo de obtenção de uma imagem radiológica precisa de alguns elementos básicos para gerar uma imagem digital, sendo algumas delas: Um emissor de Raio-X, um paciente posicionado, uma placa fluorescente, um leitor de radiografia, um computador e um software de aquisição de imagens, a imagem nº 2, apresenta algumas dessas etapas.

Figura nº 02: Processo de captura de imagem radiológica



Fonte: Eigier diagnosticos S/D.

Após a exposição do paciente a radiação, o IP é retirado e inserido no CR para a aquisição de imagem, no caso deste trabalho, os estudos limitaram-se a descrever somente o elemento responsável pela leitura das imagens radiológicas, o CR.

2.1 RAIIO-X NO BRASIL

A primeira imagem de Raio-X no Brasil foi feita no ano de 1896, como as pesquisas ocorreram quase simultaneamente, três pesquisadores de três localidades diferentes, são considerados como pioneiros na radiologia no país, sendo eles: Silva Ramos em São Paulo, Francisco Pereira Neves no Rio de Janeiro e Alfredo Brito no estado da Bahia. Em consequência da falta de registros capazes de especificar o dia e o mês, fez com que a Sociedade Paulista de Radiologia por Imagem e Diagnóstico (SPR), concluísse que as descobertas devem ter ocorrido em intervalos bem próximos por cada pesquisador.

Dezessete anos depois, no ano de 1913 na Santa Casa de Misericórdia localizada em São Paulo, Rafael de Barros foi considerado como sendo o primeiro professor de radiologia do estado, e o mesmo pode ser observado na figura nº 03.

Figura nº 03: Professor Rafael de Barros



Fonte: Sociedade Paulista de Radiologia por Imagem e Diagnóstico (SPR), S/D

No mesmo ano no Rio de Janeiro, foi apresentado o primeiro professor de radiologia do estado, sendo ele o senhor Duque Estrada, no Hospital também denominado de Santa Casa de Misericórdia, conforme mostrado na figura nº 04.

Figura nº 04: Professor Duque Estrada



Fonte: Sociedade Paulista de Radiologia por Imagem e Diagnóstico (SPR), S/D

A partir das lutas desses professores e pesquisadores, iniciam-se os estudos sobre o Raio-X, nos hospitais brasileiros. Então tudo foi sendo avaliado e estudado de modo a proporcionar a máxima evolução do processo radiológico. Outro marco importante a ser relatado, segundo SPR, (S/D, p. 01) foi realizado pelo Dr. *“José Carlos Ferreira Pires o primeiro médico a instalar um aparelho de Raios X no interior do Brasil, na cidade de Formiga, Minas Gerais, a 600 km do Rio de Janeiro. Hoje, o equipamento está no Museu de Cirurgia em Chicago”*.

Com o processo radiológico em expansão, durante os anos de 1903 e 1904 na Bahia, surge o registro da realização da primeira aula de radiologia, ministrada aos alunos do 3º ano do curso de medicina. Alguns anos mais tarde, a primeira processadora

automática de filmes foi instalada em um consultório particular, pertencente a um dos pioneiros na radiologia brasileira, sendo este o médico Feres Secaf. No ano de 1896, é fabricado o primeiro equipamento radiológico utilizado na América do Sul, sob a supervisão do descobridor do Raio-X: Roentgen, em consequência desse processo, existe uma placa em Chicago listando este fato, além da primeira ampola, todos esses fatos encontram-se representados na figura nº 05.

Figura nº 05: Primeira aula, processadora, placa e ampola



Fonte: Sociedade Paulista de Radiologia por Imagem e Diagnóstico (SPR), S/D

Outro importante pesquisador responsável pelo processo evolutivo radiológico, trata-se de Nicola Casal Caminha, sendo o mesmo, ainda conforme SPR, (S/D, p. 01), “o Professor da Faculdade Nacional de Medicina. Considerado o Pai da Radiologia por ter formado a maioria dos radiologistas brasileiros de sua época”. Veja a figura nº 06 do professor em destaque.

Figura nº 06: Professor Nicola Casal Caminha



Fonte: Sociedade Paulista de Radiologia por Imagem e Diagnóstico (SPR), S/D

Além das personalidades citadas anteriormente, existiram outros importantes pesquisadores, que foram responsáveis pela contribuição na evolução da radiologia brasileira até a atualidade.

2.2 RADIOGRAFIA CONVENCIONAL E COMPUTADORIZADA

Antes do surgimento dos equipamentos digitais, os exames radiológicos eram “impressos” originalmente com papel fotográfico e com o passar do tempo passou-se a utilizar o chamado filme radiográfico, que para a obtenção da imagem final, o mesmo deveria passar por um processo manual que pode ser resumido em: Revelação, lavagem intermediária, fixação, lavagem final e secagem.

Com o surgimento das primeiras processadoras de filmes radiográficos automáticas, as etapas puderam ser reduzidas a: revelação, lavagem final e secagem. Entretanto, os processos envolvendo a revelação de filmes utilizam de uma quantidade considerável de químicos, necessita-se de uma sala específica para revelação e tratamento do filme, além do que o armazenamento e conservação destes filmes é algo bastante dispendioso, isso sem contar com o fato de que a qualidade de imagem obtida com um filme é bem inferior a uma imagem digital com resolução de 16 bits.

Os primeiros equipamentos de radiografia computadorizada ou CR começaram a ser produzidos em larga escala por volta dos anos 70 quando surge a evolução da radiologia por imagem, conforme diz Fenelon (2008, p. 01):

A grande evolução da radiologia deu-se a partir dos anos 70-80, com os grandes avanços tecnológicos e científicos, que permitiram um diagnóstico muito mais preciso. Desde então, a radiologia vem obtendo grande espaço na prática médica. O advento de novos métodos diagnósticos tais como a ultrassonografia, mamografia digital, densimetria óssea, tomografia computadorizada *multislice*, PET/CT e PET/RM, ressonância magnética 3T e radiologia digital, fez surgir uma “nova” especialidade, a imagiologia ou imagiologia.

Com o surgimento destes equipamentos, houveram grandes mudanças na obtenção e processamento das imagens radiológicas, e acabou por tornar a utilização de produtos químicos para revelação de filmes, algo obsoleto, já que a emissão de Raio-X feita sobre o cassete, podendo por exemplo utilizar placa de fósforo como placa de imagem e que possui dimensões seguindo os padrões radiológicos utilizados anteriormente com os filmes radiográficos, o mesmo só necessita ser colocado no leitor de radiografia. Após o escâner do equipamento do *image plate* ou placa de imagem (IP) localizado no interior do cassete, a imagem é então transmitida para o computador.

Este equipamento é do tipo eletromecânico e possui funções para obtenção/reconstrução e transmissão para visualização da radiografia final para um computador. De modo geral, ele opera da seguinte forma conforme diz Oliveira e Lopes (2007, p. 02).

(...) Um sistema de alimentação aceita a placa de fósforo, numa velocidade uniforme, um sistema de transporte conduz a placa de imagem através de um scanner com feixe de laser estimulador; a luminescência fotoestimulada, pixel por pixel, é coletada por um filtro que faz a separação da fotoestimulação contra o espectro da luminescência, uma vez que o feixe de estimulação é várias ordens de grandeza mais intenso que a luminescência (dados da imagem). Em seguida, um fotomultiplicador/detector amplifica o sinal. O sinal analógico é convertido em digital e o computador armazena a matriz em um buffer de imagem para as operações subsequentes, como exibição, inserção de anotações, análise, medição, armazenamento etc. Muitas vezes, depois da estação de leitura, há ainda a etapa do apagamento, realizada pela ação de uma luz fluorescente brilhante.

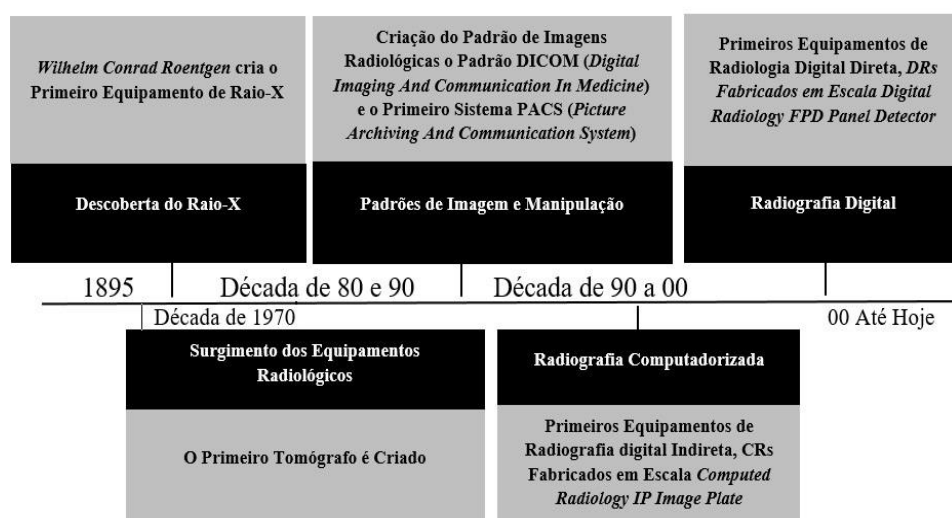
Em resumo, após o cassete ter sido retirado do *bucky* do equipamento de Raio-X ou simplesmente ter sido posicionado próximo a parte a ser radiografada do paciente e ser irradiado, o mesmo deve ser levado até o CR. Já dentro dele, o *Plate* é puxado e escaneado, e ao final, quando o mesmo é empurrado novamente para dentro do cassete a imagem é apagada e o equipamento encontra-se pronto para realizar um novo exame.

A imagem gerada por esse equipamento possui formato padrão de nome DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), que foi desenvolvido no ano de 1983 pelo comitê norte-americano do *American College Of Radiology* (ACR) e em

parceria com a NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*). Este padrão, trata-se de um conjunto de normas responsáveis por tornar a comunicação e também o armazenamento desses dados médicos num único formato eletrônico, que se estrutura em um protocolo.

Alguns dos eventos envolvendo desde a descoberta do Raio-X até mesmo os equipamentos de tecnologia mais recentes na área da radiologia digital, encontram-se descritos na linha do tempo descrita na figura nº 07 a seguir:

Figura nº 07: Linha do tempo do Raio-X



Fonte: A autora

A figura nº 07 aborda a linha do tempo do surgimento e a evolução tecnológica e/ou revelação/leitura de exames radiológicos.

2.3 RADIOGRAFIA DIRETA (*DIRECT RADIOGRAPHY – DR*)

A tecnologia posterior a radiografia computadorizada CR, como descrita na figura nº 07, foi a radiografia digital DR. Neste último caso, trata-se de uma tecnologia de estado sólido, funcionando da seguinte forma: o paciente é posicionado em frente a placa e o mesmo é irradiado por um emissor de Raio-X, a placa DR, posicionada atrás do paciente, capta o feixe da radiação transmitido e o transforma em sinal elétrico que é então convertido em sinal digital com o auxílio de um conversor analógico digital, o *software* de aquisição de imagens do equipamento então recebe e processa a imagem

radiológica final em questão de segundos e apresenta ao operador, após decorrido esse tempo o equipamento encontra-se pronto para a realização de um novo exame.

O dispositivo constitui-se de uma matriz de sensores internos, que recebem o nome de *Digital Detector Array* - DDA ou em tradução literal: matriz de detector digital, esses sensores variam e podem ser dos tipos: sensor *Charge Coupled Device* - CCD ou Dispositivo acoplado de carga, sensor *Complementary Metal Oxide Silicon* - CMOS ou óxido de metal complementar de silício, sensor *Thin Film Transistor* - TFT ou transistor de filme fino de Silício Amorfo.

A tecnologia DR está em um patamar mais avançado, porém está associada a uma maior complexidade e maior custo. Por esta razão, neste trabalho será considerada a tecnologia CR como base para o estudo inicial proposto que representa uma primeira etapa para o desenvolvimento de um equipamento com tecnologia nacional. A tecnologia CR é capaz de proporcionar excelentes resultados e tem ainda uma longa inserção no mercado.

3 EQUIPAMENTO FIRE CR – DIGIRAY

Neste capítulo será apresentado o detalhamento tanto construtivo quanto operacional do equipamento objeto de estudo deste trabalho, o leitor de radiografia *FireSpark 70 CR*, do fabricante *Digiray*, sendo este uma das versões mais compactas existentes no mercado mundial. A figura nº 08 ilustra uma vista explodida deste equipamento.

Figura nº 08: CR Fire, vista explodida do equipamento

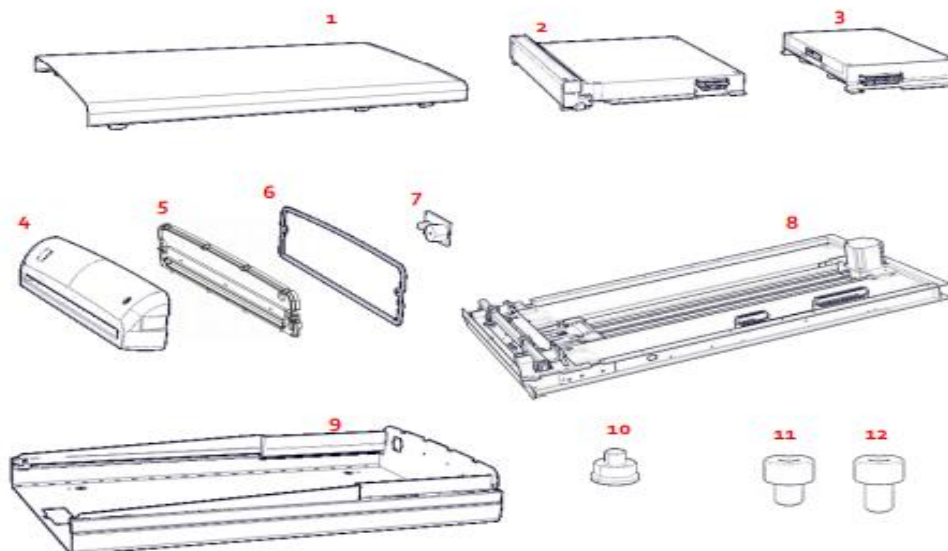


Fonte: *FireCR flash Spare parts price list Hardware revision AD/Spark (2016)*

Pode-se observar que: a tampa, trata-se da responsável por recobrir todo o equipamento, no caso da segunda parte (em marrom), é onde encontram-se todas as placas de circuito eletrônico, responsáveis pela leitura e processamento da máquina, e por último, mas não menos importante, pode-se observar a parte inferior do CR, onde é possível ver o motor responsável por “puxar” o *Plate Image* ou IP para leitura e por “devolver” o mesmo em “branco” para novos exames. As figuras nº 09, 10, 11 e 12 detalham as partes mecânicas que compõem o equipamento estudado. Na figura nº 09, pode-se notar que cada parte do equipamento foi marcada com um número, e correspondem a: 1- capa superior, 2 - módulo fotográfico, 3 - módulo eletrônico, 4 - cobertura frontal, 5 - adaptador de cobertura, 6 - junta de silicone, 7 - Placa indicadora de LED, 8 - Módulo Mecânico, 10 - Pés, 11 - Parafuso, hexagonal 4x5mm e 12 - Parafuso, hexagonal 4x8mm. Equipamentos desse tipo, possuem encaixes muito precisos, e erros na montagem e/ou desmontagem, provocados por uma troca de parafusos ou até mesmo um aperto a mais em algum deles, pode provocar o travamento

de alguma parte, que pode provocar o mal funcionamento ou até mesmo travamento completo da máquina.

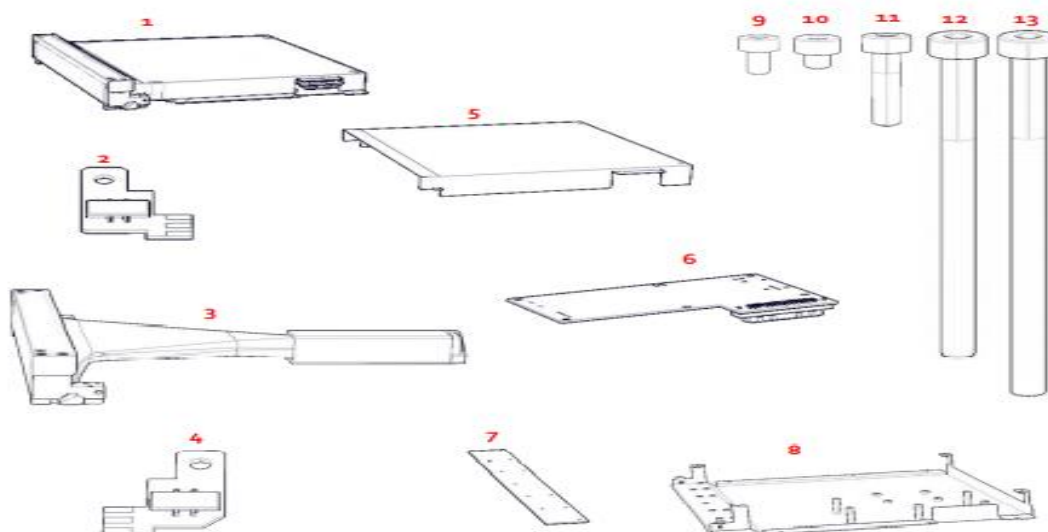
Figura nº 09: Partes mecânicas CR FireSpark 70, detalhamento 1



Fonte: *FireCR flash Spare parts price list Hardware revision AD/Spark* (2016)

Seguindo com a observação das partes que constituem o equipamento, pode-se notar algumas partes eletrônicas do mesmo na figura nº 09. Analisando a figura nº 09, pode-se notar a existência dos seguintes itens: 1 Módulo de foto (ou imagem), 2-PSD, esquerda, 3-PMT e pacote de fibra, 4-PSD, direita, 5-Tampa do módulo de foto, 6-Placa de módulo de foto, 7-Borracha, 8-Refletor de borracha / tampa inferior, 9 Parafuso,

Figura nº 10: Partes mecânicas CR FireSpark 70, detalhamento 2

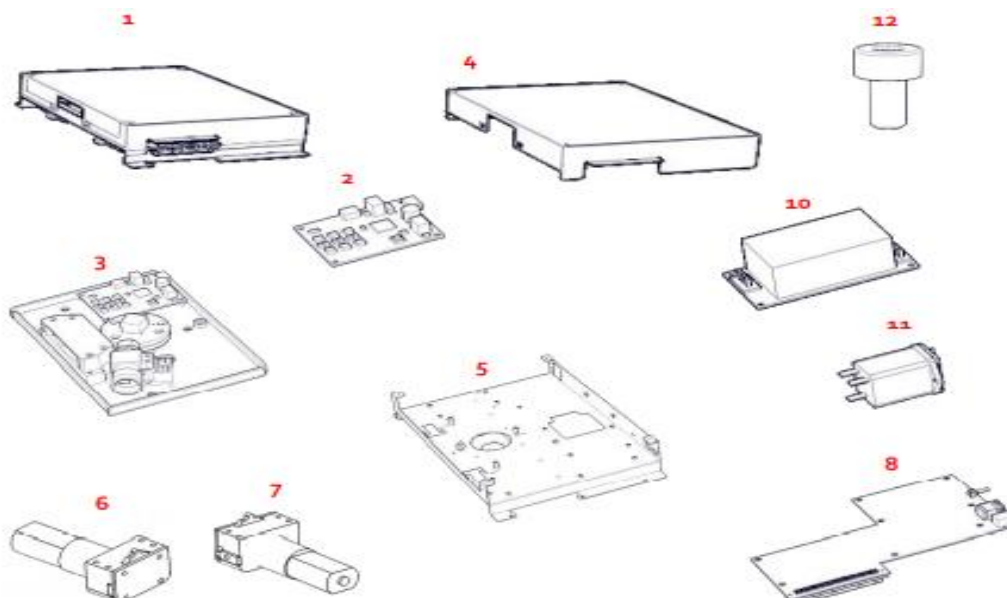


Fonte: *FireCR flash Spare parts price list Hardware revision AD/Spark* (2016)

hexagonal 3x6mm, 10 Parafuso, hexagonal 4x5mm, 11 Parafuso, hexagonal 4x20mm, 12 Parafuso, hexagonal 4x70mm e 13 Parafuso, hexagonal 4x80mm.

A partir da figura nº 10, o detalhamento do equipamento, começa a apresentar algumas partes eletrônicas internas. A figura nº 10 ilustra os seguintes detalhes internos: 1 - Módulo eletrônico, 2 - Placa de controle do motor BLDC, 3 - Placa óptica laser, 4 - Tampa do Módulo eletrônico, 5 - Placa base do módulo eletrônico, 6 - Motor de alinhamento esquerdo, 7 - Motor de alinhamento direito, 8 - Placa principal, 9 - cartão SD (não retratado), 10 - Fonte de alimentação do modo de *switch*, 11 - interruptor de energia da rede e 12 - Parafuso, hexagonal 3x6mm. No caso da figura nº 11, detalhamento sobre o CR, pode-se notar a citação de sensores.

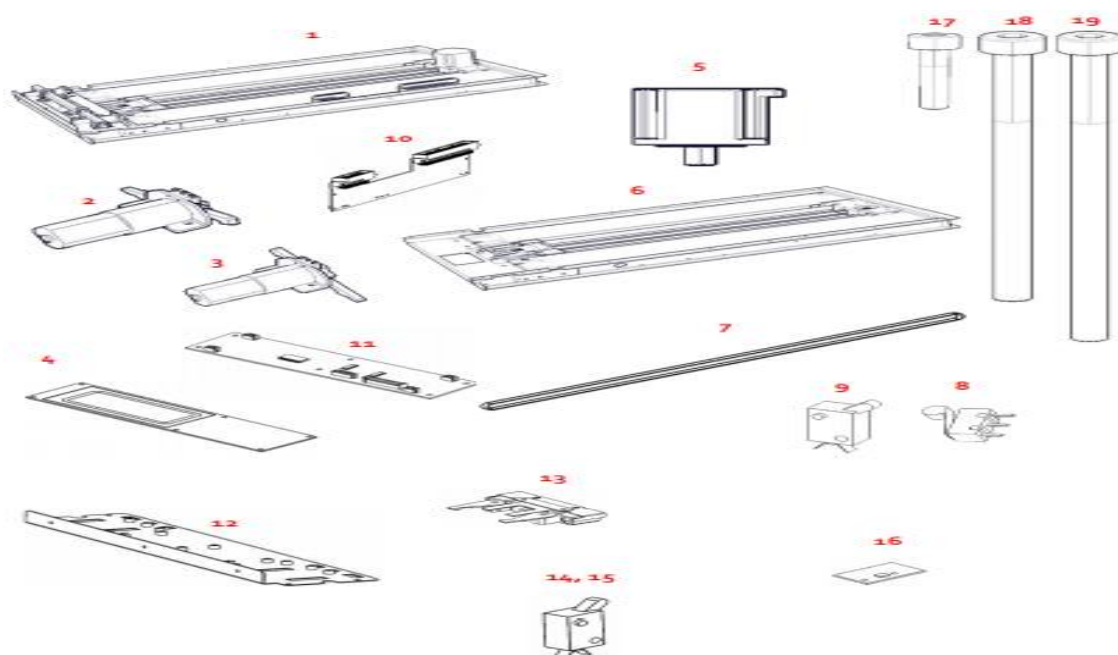
Figura nº 11: Partes mecânicas CR FireSpark 70, detalhamento 3



Fonte: FireCR flash Spare parts price list Hardware revision AD/Spark (2016)

Na figura nº 11, é possível ver os itens ilustrados: 1-Módulo Mecânico, 2-Conjunto do motor de travamento de cassete, direito, 3-Conjunto do motor de travamento de cassete, esquerda, 4- Placa RFID, 5-Motor passo, 6-Conjunto rosca e guias, 7-Rosca sem fim, 8- Fim de curso, 9-Interruptor de limite,10-Placa de interconexão, 11-Placa frontal,12-placa superior, 13-Montagem do estágio móvel, 14- Interruptor esquerdo, 15-Interruptor direito, 16-sensor,7-Parafuso hexagonal 4x20mm, 18-Parafuso hexagonal 4x70mm e 19-Parafuso hexagonal 4x80mm.

Figura nº 12: Partes mecânicas do CR *FireSpark 70*, detalhamento 4



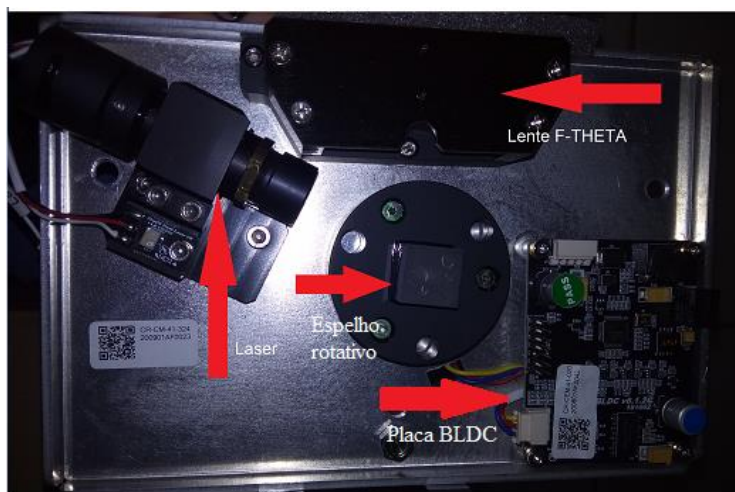
Fonte: *FireCR flash Spare parts price list Hardware revision AD/Spark* (2016)

Além deste detalhamento sobre a construção eletroeletrônica e também mecânica sobre o CR estudado, é apresentada na figura nº 38 a arquitetura eletrônica do funcionamento global da máquina, nela pode-se inclusive observar níveis de tensão específicos de acordo com as necessidades de cada placa.

3.1 PLACAS DE CIRCUITOS ELETROELETRÔNICOS DO CR *FIRESARK 70*

Na sequência serão apresentadas as figuras das placas que compõem o leitor de radiografia digital estudado ao longo deste trabalho, em conjunto com a descrição de suas características e funcionalidades.

Ao ser ligado, uma das primeiras partes a ser acionada é o espelho rotativo, que em conjunto com o laser, “criam” um ponto focal lateral direito no canto do espelho, e o mesmo é refletido em uma lente *F-THETA*, essa lente intensifica o feixe de *laser* escaneado e encontra-se em frente ao espelho, após a concentração do sinal, o mesmo é transmitido para a parte frontal do equipamento, onde logo abaixo do feixe de fibra ótica encontra-se um chanfro que permite a passagem do *laser* para a parte inferior do leitor. Como pode ser visto na figura nº 13.

Figura nº 13: Placa ótica *laser*

Fonte: A autora

O módulo a *laser* é capaz de transmitir um sinal com comprimento 650 [nm] e utiliza um laser com potência de 60,2mW e o espelho quadrado gira a cerca de 1800 rotações por minuto [rpm], graças a isso é possível digitalizar todo o *Plate Image*. Conta também com uma *F-theta*, responsável pelo foco e amplificação do sinal recebido.

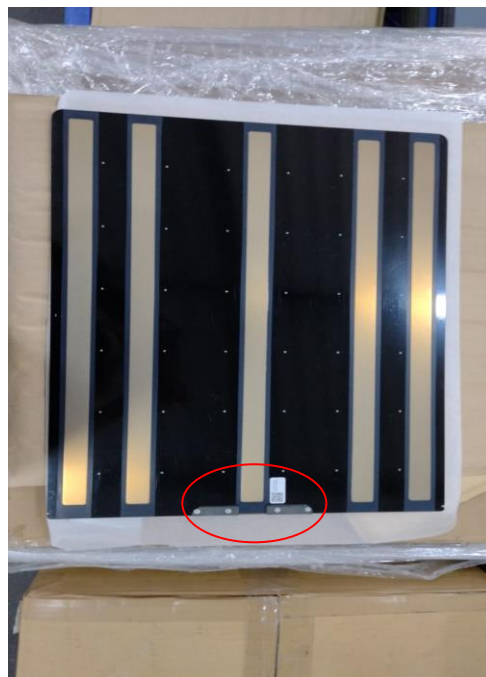
Logo que o botão de inicio de leitura de cassete é pressionado (e existe um cassete no interior do CR), os motores de travamento de cassete giram de sua posição original e seguram o case, a partir daí, uma garra de plástico se desloca em duas guias metálicas, na parte frontal do equipamento até o cassete. Essa garra encaixa-se na parte inferior do IP e encerra seu deslocamento quando atinge o fim de curso superior pela segunda vez ao devolver o IP ao cassete. Para conseguir removê-lo do interior do CR e iniciar uma nova leitura, basta aguardar a liberação do cassete pelo equipamento.

Nas imagens nº14 e nº15 é possível observar como é o local onde a garra se encaixa no IP para fazer a leitura da imagem radiológica “impressa” sobre o mesmo.

Figura nº 14: Vista superior IP



Figura nº 15: Vista traseira IP

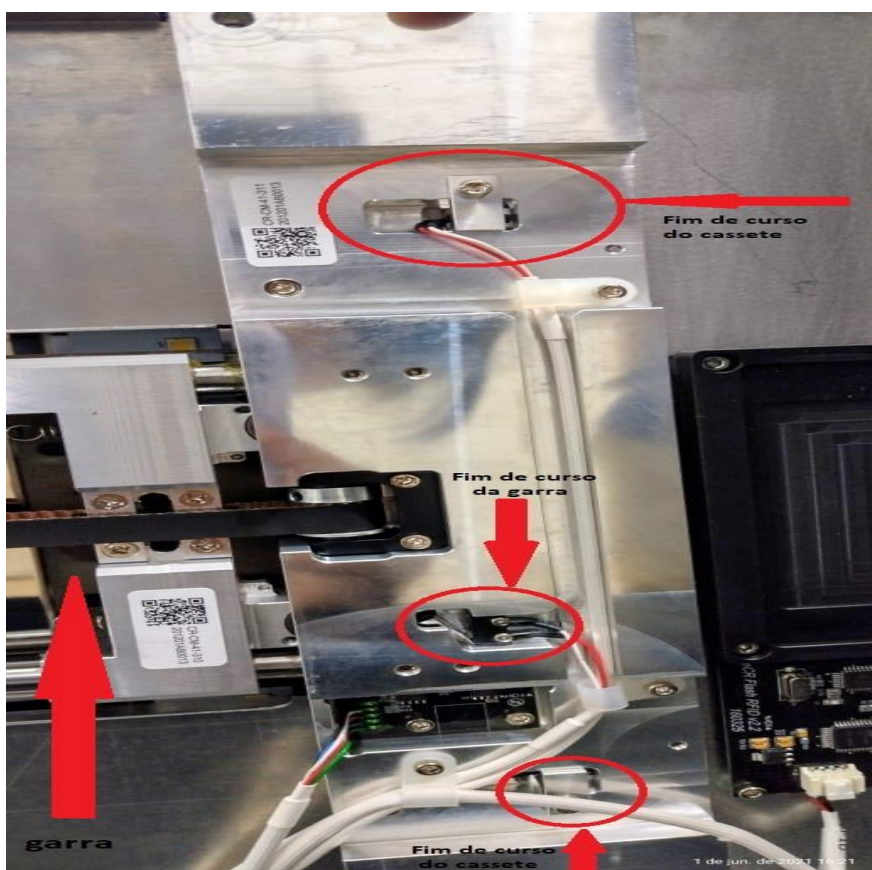


Fonte: A autora

Como o *FireSpark 70* possui essa estrutura para o suporte e fixação do IP, o mesmo encontra-se protegido de sofrer impactos e/ou compressões por parte da garra, ao longo do processo de leitura e apagamento do mesmo no interior da máquina, já que a mesma se abre levemente e encaixa seus “dentes” nessa estrutura e então consegue deslocar o IP livremente. Na figura nº 16 da parte inferior do equipamento é possível identificar a garra.

Conforme o IP se desloca na parte inferior do CR, o mesmo é atingido por uma “linha” de *laser*, localizada na parte frontal. A garra percorre todo o equipamento, até atingir um fim de curso e neste momento toda a imagem radiológica já foi lida e adquirada pelo *software*. Inicia-se então o processo de apagamento do *Plate*, o motor de passo gira então no sentido anti-horário, para empurrar a garra para frente e ao mesmo tempo aciona a placa de *led* apagadora, que encontra-se sob o feixe de fibra, conforme o IP se desloca próximo a placa, a imagem vai sendo apagada.

Figura nº 16: Vista da parte inferior do CR FireSpark 70

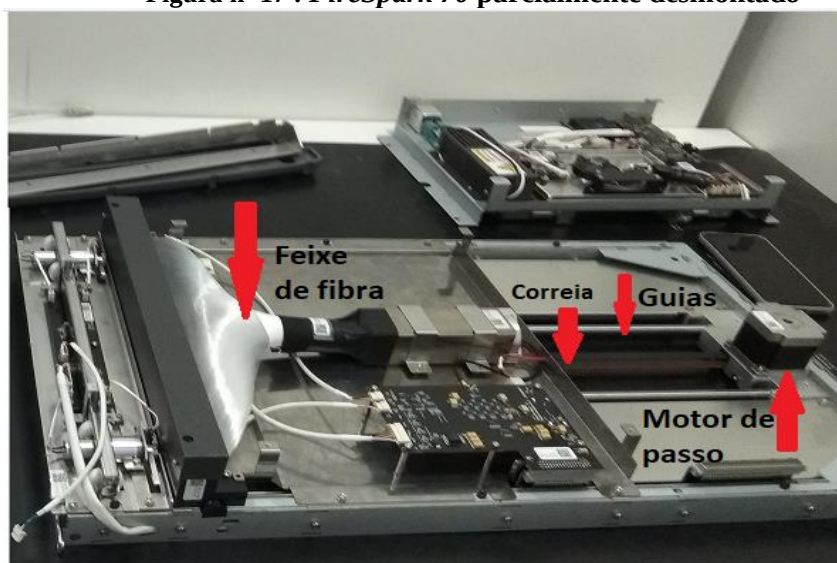


Fonte: A autora

Em alguns casos, a imagem radiológica pode não ser apagada por completo, neste caso, em exames posteriores, será possível ver imagens bem “fracas” no IP, elas recebem o nome de “*ghost image*” ou imagens fantasmas. Em geral isso acontece quando é feito algum tipo de imagem radiológica com objetos de metal pesado, sendo necessário que o cassete seja exposto a radiação diversas vezes sem objetos em sua frente e com o colimador do emissor de Raio-X todo aberto cobrindo toda a área do cassete, para que a imagem fantasma desapareça por completo ou até mesmo que o IP seja lido no mínimo duas vezes pelo CR sem qualquer imagem, para que consiga ser “apagado”.

A seguir encontra-se a figura nº 17 do CR FireSpark 70 sem as tampas externas e internas. Também foi removida toda a estrutura frontal do equipamento, para maiores observações do funcionamento do mesmo.

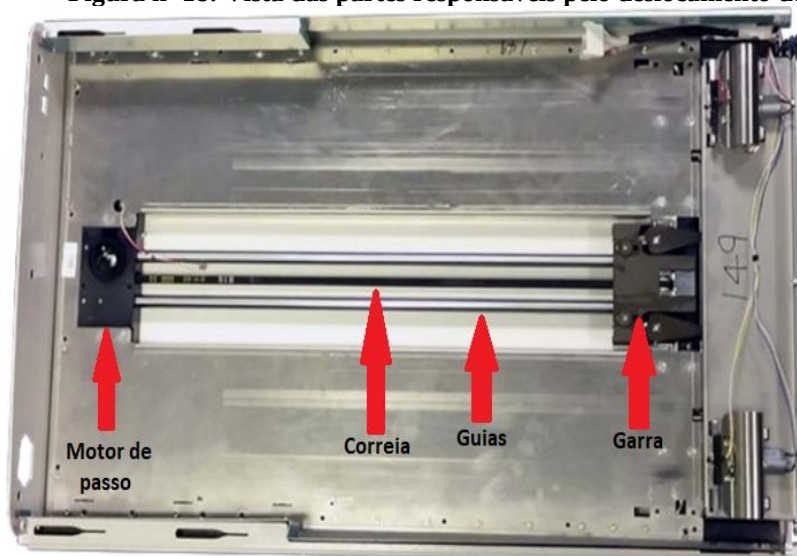
Figura nº 17 : FireSpark 70 parcialmente desmontado



Fonte: A autora

Pode-se observar na figura nº 18, uma outra vista do equipamento sem os módulos eletrônicos na parte superior. Destaca-se nessa figura nº 18 os elementos principais responsáveis por retirar o IP do interior do cassete, fazer a leitura e o apagamento do mesmo para em seguida retorná-lo a posição inicial. Pode-se observar que da mesma forma que nos demais modelos usados para comparações, o *Plate* percorre a extensão de todo o equipamento, porém este CR apresenta uma estrutura mais leve e precisa para o processo.

Figura nº 18: Vista das partes responsáveis pelo deslocamento do IP



Fonte: *FireCR flash Service Manual* (2019) (Adaptada pela autora)

O equipamento é facilmente desmontável, em comparação com os demais CRs utilizados como comparativos neste trabalho, além de possuir uma estrutura mais leve e um *layout* interno muito mais “enxuto”.

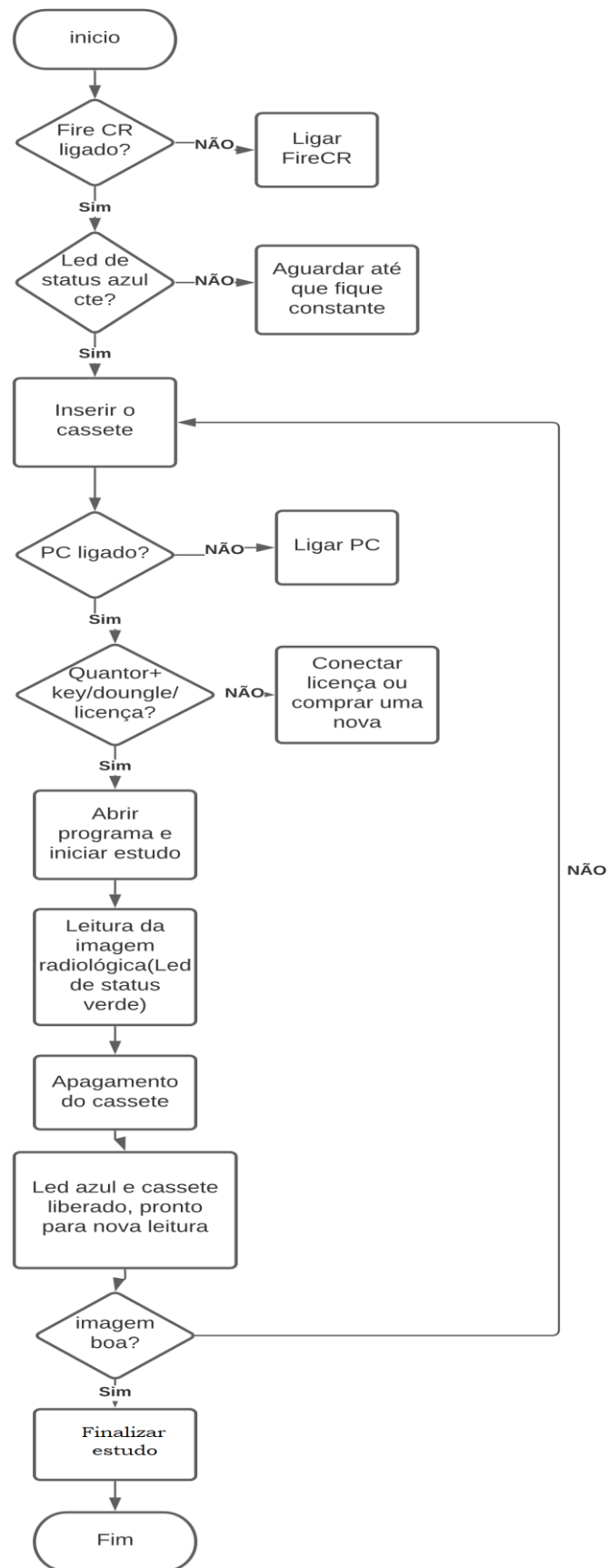
Para melhor exemplificar o funcionamento do CR do ponto de vista do operador, foi elaborado o fluxograma figura nº 19, que descreve de modo geral as etapas básicas para a obtenção de uma imagem. De modo geral, esse é o procedimento de trabalho normal do operador de um *FireSpark 70*. Considerando o equipamento como novo, inicialmente deve-se verificar se todos os cabos de alimentação e comunicação se encontram conectadas, em seguida o CR deve ser ligado só depois disso o *software* deve ser aberto. Quando o equipamento liga, tanto o espelho rotativo quanto o *laser* são acionados e permanecem ligados enquanto o CR encontra-se operando. Seguindo as orientações do fabricante, a próxima etapa engloba a calibração do aparelho obedecendo a sequencia de inicialmente realizar o auto alinhamento e em seguida a calibração com um cassete, configurações iniciais concluídas, o aparelho encontra-se pronto para uso.

Cabe ao técnico em radiologia, fazer as verificações iniciais da máquina e iniciar um estudo/exame, também compete ao mesmo avaliar a qualidade da imagem obtida pelo equipamento, caso seja observada alguma mudança, o equipamento passa então por análise técnica especializada, a partir daí utilizam-se os parâmetros pré-definidos pelo fabricante.

No caso do fluxograma nº 20, pode-se observar o funcionamento do ponto de vista de engenharia do CR *FireSpark 70*, descrevendo as principais operações eletromecânicas do mesmo, e os principais sensores do aparelho.

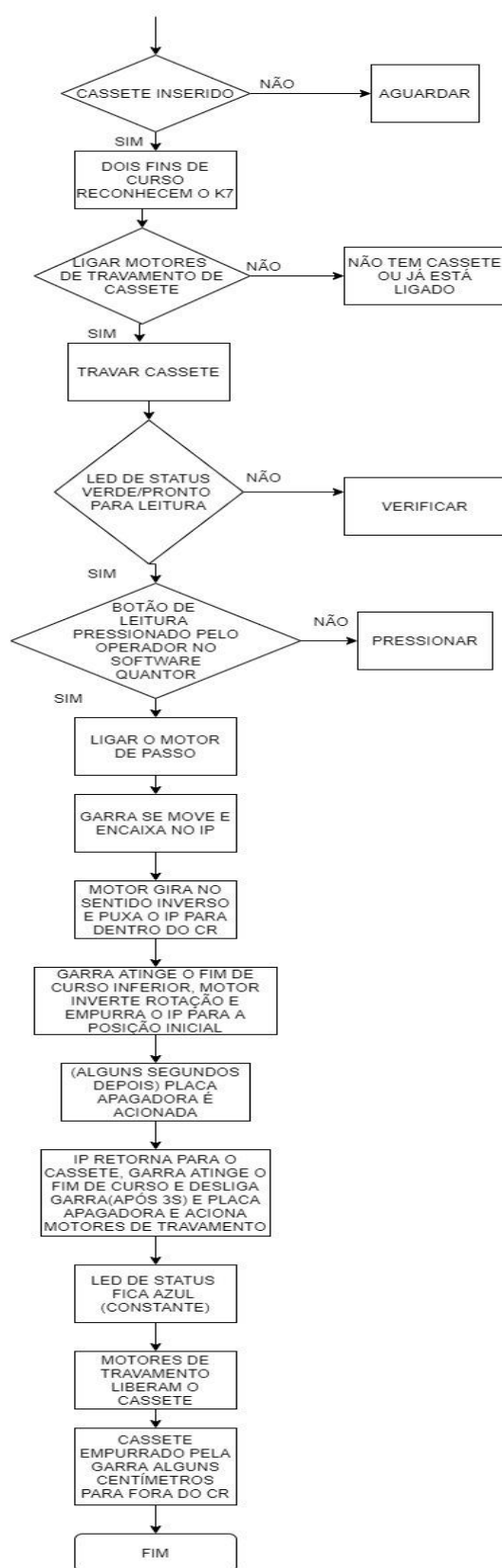
Após inserir um cassete no interior do aparelho, o mesmo atinge dois fins de curso, em seguida é travado na parte superior por dois motores, um à esquerda e outro à direita e o *led* de *status* também muda de cor neste momento, deixando o botão de leitura “habilitado” para o operador. Ao clicar no botão, a leitura se inicia, o *led* de *status* fica intermitente, ainda na cor verde, e neste momento, o motor de passo entra em operação, a garra se move alguns centímetros na parte frontal e se encaixa na parte inferior do IP e o puxa para dentro do CR, ele se desloca lentamente para que ao ser atingido pelo *laser*, as fibras óticas tenham o tempo necessário para captar a luz e a transmitir em alta velocidade para o tubo PMT e em seguida até a placa do módulo de photo.

Figura nº 19: Fluxograma geral 1



Fonte: A autora

Figura nº 20: Fluxograma quando o cassete é inserido no CR



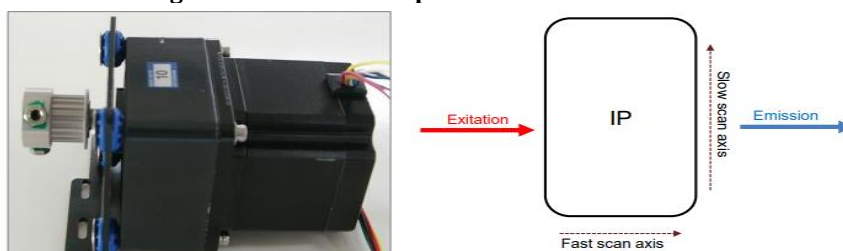
Fonte: A autora

Decorrido o tempo de leitura, a garra encontra-se na parte inferior do aparelho, neste momento ela atinge o fim de curso inferior, a partir daí o motor de passo inverte sua rotação e começa a empurrar o IP para o cassete, alguns segundos depois a placa apagadora é acionada e o *led* de status muda de verde intermitente para azul intermitente, a placa então emite uma luz branca constante sob o *plate image* enquanto ele se desloca por baixo da mesma, após “apagar” todo o *plate*, a placa se desliga.

A garra então atinge um fim de curso superior, localizado próximo a região por onde ela se desloca, nesse momento o IP se encaixa no cassete, e ele é empurrado para fora por alguns centímetros. Decorridos poucos segundos após esbarrar no fim de curso, a garra para, neste momento o cassete já pode ser retirado, o *led* de *status* já assumiu a cor azul constante, e quando o cassete é puxado para fora, a garra recua alguns centímetros para sua condição de repouso, mas ainda se mantém na parte frontal do equipamento.

O motor de passo, também chamado pelo fabricante de “motor do eixo y” e é o responsável por fazer a varredura no eixo de forma lenta ou mais rápida dependendo da qualidade de imagem escolhida pelo operador, no caso da seleção do modo SD ou *standard*, trata-se de uma imagem com pouca qualidade por consequência o IP é “Lido” de forma mais rápida no interior do CR. Caso a opção HD ou *high definition* seja selecionada, o equipamento faz uma leitura um pouco mais lenta, possibilitando ao aparelho um tempo maior para o processamento da imagem, resultando em uma imagem de maior qualidade, figura nº 21.

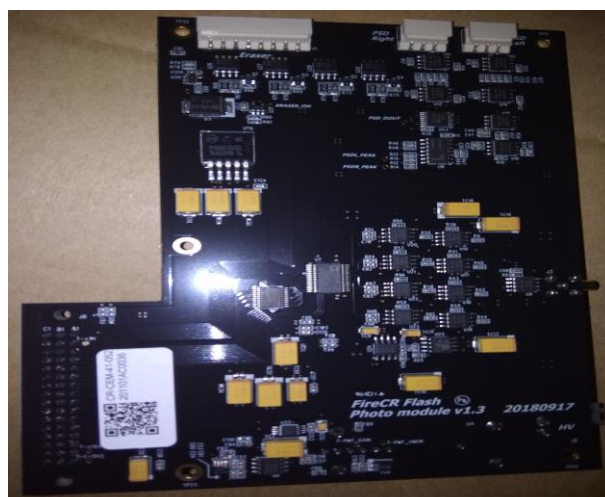
Figura nº 21: Motor de passo e a velocidade de leitura do IP



Fonte: *Basic Guide of FireCR Scanner DIGIRAY CORP.* (2019)

Placa *Photo module* ou placa PMT é a placa responsável por receber o sinal elétrico na ordem de miliamperes e convertê-lo de modo a obter uma imagem digital, possibilitando a visualização da imagem radiológica que pode ser vista na figura nº 22.

Figura nº 22: Placa PMT FireSpark 70

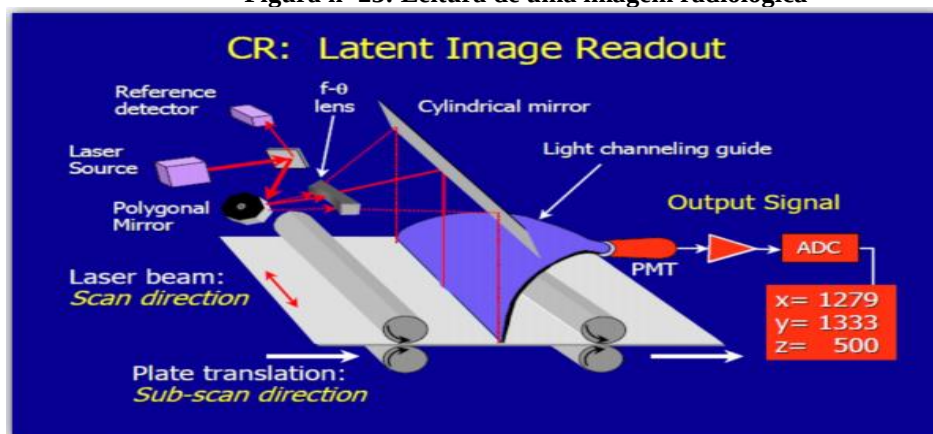


Fonte: A autora

O sistema de aquisição de imagem radiológica digital moderno pode ser resumido da seguinte forma: um computador serve de interface para o processo de aquisição, decodificação, armazenamento e visualização da imagem formada. Tornando a placa anteriormente ilustrada, como de fundamental importância no processo de conversão de do sinal elétrico recebido em uma matriz binária de pixels.

A figura nº 23 apresenta um esquemático do processo de leitura de um IP no interior de um *FireSpark 70*.

Figura nº 23: Leitura de uma imagem radiológica



Fonte: *Basic Guide of FireCR Scanner DIGIRAY CORP.* (2019)

Como pode ser visto, na figura nº 23 um *laser* é irradiado um espelho rotativo e o mesmo é refletido em uma lente, responsável pela concentração e foco do sinal, além de

torná-lo homogêneo em toda a extensão da fibra ótica. A fibra interpreta este sinal e transmite ao tubo PMT, dados com referência x, y e z. Na figura nº 24 pode-se ver o tubo PMT que encontra-se fixado no feixe de fibra ótica.

Figura nº 24: Tubo PMT *FireSpark 70*



Fonte: *Basic Guide of FireCR Scanner DIGIRAY CORP.* (2019)

Da mesma forma que no caso dos tubos PMTs descritos para os outros modelos de CRs, este também recebe os fotoeletrons e em seu interior, colidem nos *dinodos* até atingir um valor de corrente capaz de ser interpretado pelo módulo de *photo*, o que pode ser observado de principal diferencial, é que para este caso, não possui em suas extremidades conectores para interligação com a placa PMT, o contato elétrico ocorre por intermédio de 3 conectores, sendo um deles para transmissão dos sinal digital recebido e os outros dois para alimentação do tubo.

3.2 FIBRA ÓTICA UTILIZADA NA AQUISIÇÃO DE IMAGENS

Diferente dos outros dois modelos utilizados como comparativos no decorrer deste trabalho que utilizam tubos foto multiplicadores no processo de aquisição de imagem, o objeto de estudo do mesmo utiliza a fibra ótica no processo de aquisição. Isso ocorre, pois, a fibra é muito utilizada na atualidade, é feita de um material a base de vidro ou mesmo plástico (polímeros), tendo como princípio de transmissão de dados, a reflexão que acontece devido ao transporte de luz existente em seu interior. Como os cabos de fibra são fabricados com materiais dielétricos, a propagação da luz no interior da mesma fica imune a interferências de ondas eletromagnéticas externas ao filamento.

A matéria prima utilizada para a produção da fibra ótica é o quartzo que proporciona a produção de fios bem finos e transparentes, podendo ser encurvados sem

risco de quebrar. O material é transparente e possui alto grau de pureza devido a matéria prima utilizada em sua produção, possuir essa característica. A propagação da luz por ondas eletromagnéticas, ao adentrarem em um filamento de fibra ótica, essa luz sofre uma reflexão total o que faz com que essas reflexões percorram toda a extensão da fibra e seja capaz de chegar ao seu destino final. Lima (S/D, p. 08) et. al. explica que:

As fibras monomodo possuem um único modo de propagação, ou seja, os raios de luz percorrem o interior da fibra ótica por um só caminho. Essas se classificam em índice de grau *standard* e dispersão deslocada ou non-zero dispersion (NZD). As dimensões das fibras monomodo podem variar de 8µm a 10µm para o núcleo e 125µm para a casca. A desvantagem dessa fibra está relacionada ao manuseio, mais complexo, exigindo maiores cuidados. As fibras com índice de grau *standard* têm a fabricação mais complexa, superando assim a fibra multimodo, por conta de suas dimensões ser muito reduzidas, com larga banda passante e menor atenuação, aumentando assim sua capacidade de transmissão, ultrapassando, dependendo da qualidade da fibra, 50Km entre os repetidores.

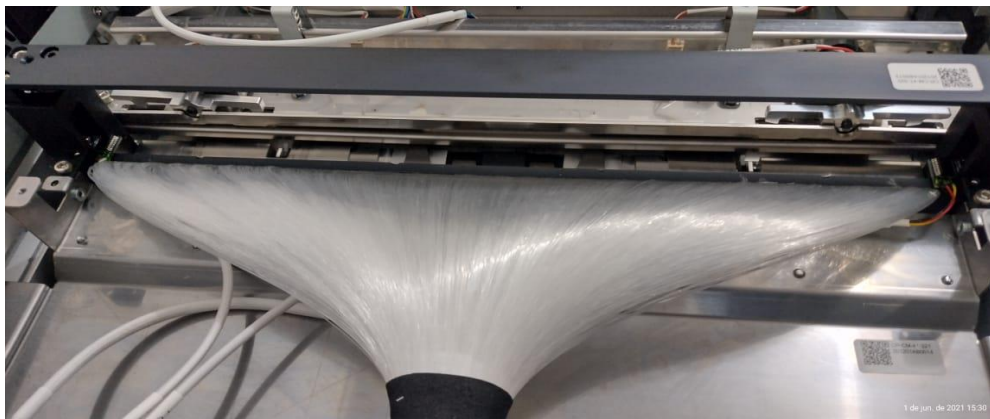
O tipo de fibra ótica descrita anteriormente, em geral necessita do uso de *laser* para gerar o sinal a ser lido, como é o caso do *FireSpark 70*, podendo este ser o mesmo tipo de material utilizado na fabricação do equipamento. Em geral, os cabos de fibra usados hoje em dia, são capazes de transmitir dados em alta velocidade, algo em torno de *Gbits* por segundo.

O feixe de fibra ótica deste equipamento é arranjado de modo a formar linhas horizontais, abrangendo basicamente toda extensão do CR e durante o processo de aquisição de imagem elas influenciam no arranjo de linhas e colunas que formam a matriz da imagem digital adquirida da placa de fósforo. Essa matriz é a responsável por organizar os *pixels* em relação aos eixos X e Y, já que o produto final se trata de uma imagem de duas dimensões ou 2D. Desta forma, observa-se que quanto maior a quantidade de linhas e colunas a imagem gerada possuir, menor será o tamanho do *pixel*, o que acarretará com que a imagem final tenha uma melhor resolução. A figura nº 25 apresenta a disposição do feixe de fibra no interior do CR, de modo a formar mais de uma linha de filamentos, de modo a tornar a distancia entre os *pixels* cada vez menor.

Observa-se que existem 256 tons de cinza (no caso de 8 bits) que podem sofrer variações do preto identificado com valor 0 e o branco que pode ser identificado com valor 255, deste modo, imagens essa quantidade de variações na escala de cinza possuem a capacidade de serem ajustadas e melhoradas, com alterações de contraste, e

colocação de cores e texturas nas imagens, e consequentemente fornecem uma imagem melhora de modo a facilitar os diagnósticos.

Figura nº 25: Feixe de fibra ótica *FireSpark 70*



Fonte: A autora

Durante o processo de aquisição da imagem digital, a mesma é “interpretada” pelo computador por meio da quantidade de *bits* por *pixel* que possui, logo quanto mais *bits*, melhor será a resolução da imagem.

O armazenamento desses *pixels*, feito em conjunto acaba por formar o chamado mapa de *bits*, que recebe o nome de *bit-map* e este mapeamento é utilizado para reproduzir/criar uma imagem digital. Um *bit* pode ser representado por um binário podendo assumir as condições de imagem preta ou branca, obedecendo ao método de conversão binária 2^n , desta forma:

1 *bit*=2 níveis

8 *bits*= 256 níveis

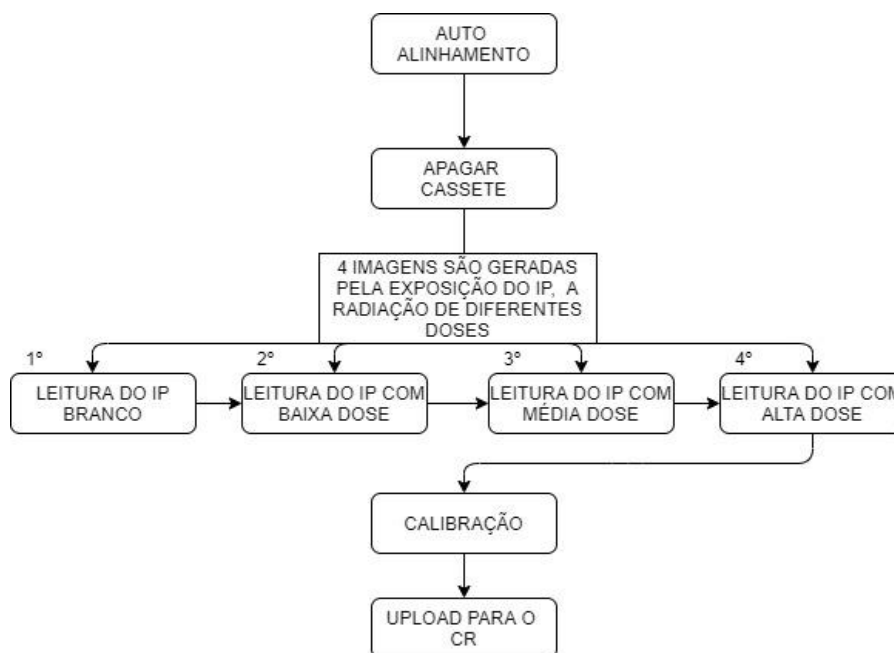
16 *bits*= 65.536 níveis

Este CR possui resolução de 16 *bits*, deste modo cada *pixel* pode ser representado utilizando um *byte* de 16 bits, com esta resolução, cada *pixel* é representado por 2 *bytes*, também chamado de uma *word*. Ao observar as imagens digitais, as mesmas são formadas por meio da combinação das 3 cores primárias de luz: vermelho, verde e azul, de modo que combinando as três, pode-se obter bilhões de cores. Fazendo $2^{16} = 65.536$, isso equivale a: 65.536 tons de verde, 65.536 tons de vermelho e 65.536 tons de azul, e ao se fazer as combinações de cores é possível obter 281.000.000 milhões cores.

Apesar da qualidade de imagem que este CR é capaz de produzir, alguns fatores devem ser considerados no processo de aquisição de imagem radiológicas. Pode-se citar por exemplo o emissor de Raio-X, sendo ele do tipo digital ou analógico, no último caso, este vem a ser um dos principais problemas na rotina de operação do equipamento, já que para a exposição com esse modelo, é preciso uma avaliação mais precisa e não necessariamente será capaz de fazer a exposição necessária para gerar um bom Raio-X. Outro fator é o método e/ou técnica utilizada durante a realização do exame, já que cada parte do corpo a ser avaliada, apresenta uma extensão e espessuras específicas, fazendo com que assim a técnica seja modificada, e em caso de uma super exposição ou sub exposição á radiação, imagens de péssima qualidade serão obtidas. Neste caso a capacidade tecnológica do aparelho não poderá interferir em nada, uma vez que a imagem que o mesmo precisará adquirir, foi levantada de forma incorreta e o *FireSpark 70*, simplesmente fará a leitura do que existe no IP inserido em seu interior.

Como o *FireSpark70* possui um feixe de fibras óticas, é necessário realizar um procedimento de calibração, pois cada uma desses coletores de fibra possuem uma sensibilidade a luz diferente das demais. Desta forma, pode-se obter uma imagem de calibração otimizada e uniforme, fazendo uso da calibração, isso garante que o aparelho irá apresentar um brilho da imagem uniforme em todos os exames radiológicos. A figura nº 26 apresenta o processo de calibração pré estabelecido pelo fabricante.

Figura nº 26: Fluxograma de calibração do *FireSpark 70*



Fonte: a autora

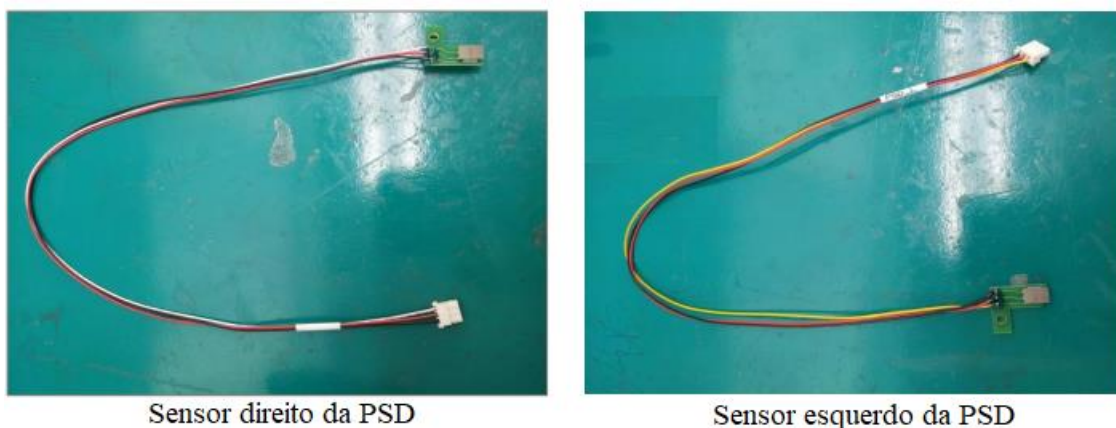
A calibração de auto alinhamento interfere diretamente na operação do aparelho, já que durante esse processo, o chamado “palco” onde o conjunto ótico do *laser* localiza-se, movimenta-se por alguns segundos, para avaliar o posicionamento do CR, essa uma “avaliação” necessária para o aparelho dependendo do modo de operação em que o mesmo se encontra, sendo eles: parede ou mesa.

Os índices determinados pelo fabricante como sendo leitura do IP branco: 00kVp e 000mAs, baixa dose: 68kVp e 0,40mAs e média dose: 68kVp 1,20 mAs e alta dose: 68kVp 16 mAs, além disso é recomendado pelo mesmo que as exposições sejam feitas a uma distância de 1,80 metros e o colimador do emissor de Raio-X deve estar todo aberto, de modo a abranger todo o cassete.

Após a calibração 4 imagens de referência são criadas e salvas na pasta de dados do *software*, sendo elas: Cal0.tif-leitura de IP branco, Cal1.tif- leitura de IP com baixa dose, Cal2.tif- leitura de IP com média dose, Cal3.tif- leitura de IP com alta dose, ao avaliá-las depois da calibração, pode-se concluir se o procedimento foi bem sucedido ou se o equipamento apresenta algum tipo de falha, caso seja necessário refazer o procedimento, é necessário apagar essas imagens e todos os dados levantados durante a calibração, para que o equipamento não entre em estado de erro.

PSD (*Position Sensitive Detector*-Detector sensível a posição), esta placa possui dois sensores posicionados no chanfro por onde o *laser* atravessa parte superior do equipamento e atinge o IP durante a leitura, um a direita e outro à esquerda, os mesmos indicam a posição exata do *Plate* utilizando a tensão convertida em A/D, desta forma eles podem determinar qual a posição inicial e final da varredura no interior do CR, figura nº 27.

Figura nº 27: Sensores da PSD



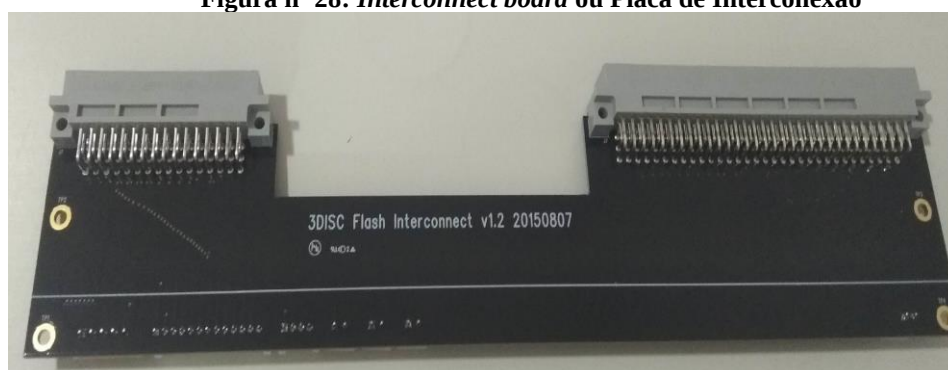
Sensor direito da PSD

Sensor esquerdo da PSD

Fonte: Fonte: *Basic Guide of FireCR Scanner DIGIRAY CORP.* (2019). (Adaptado pela autora)

Como foi citado anteriormente, estes sensores avaliam o deslocamento do IP, além disso transmitem essas “informações” para a placa PMT, localizada bem próxima a eles, ao lado do feixe de fibra ótica. Em caso de problemas na leitura por instabilidades no *laser*, uma verificação que pode ser feita é a inversão destes sinais na PMT, cada um deles informa um dado de magnitude positiva ou negativa, se esta inversão não puder ser observada no *software* de aquisição, o equipamento apresenta problemas de *hardware*, podendo ter afetado o módulo óptico de *laser* e/ou a placa PMT. Essa placa encontra-se posicionada na lateral do equipamento e atravessa o mesmo, a figura nº 28 ilustra esse elemento.

Figura nº 28: Interconnect board ou Placa de Interconexão



Fonte: A autora

Ela possui dois conectores, como podem ser vistos na imagem acima, o maior (a direita), conecta-se com a *main board* e o menor (a esquerda) conecta-se com a placa PMT, essa é uma placa que raramente apresenta problemas, além de ser necessário desmontar o equipamento todo para a substituição da mesma. A utilização desta placa também reduz consideravelmente os conectores entre algumas placas, fazendo com que a organização interna dele seja mais “enxuta”.

Front board ou placa frontal: Localizada na parte frontal do CR, veja a figura nº 29 da estrutura responsável pelo deslocamento do cassete para o interior do equipamento, sem danos.

Figura nº 29: Front board ou placa frontal



Fonte: A autora

Seus circuitos são responsáveis pelo *driver* de controle dos motores CC utilizados para travamento dos cassetes, além de receber os sinais dos dois fins de curso que identificam a presença de cassette no interior da máquina. Ela também transmite sinais para o *LED* indicador de status e o *buzzer*, localizados no painel frontal.

RFID board ou placa *RFID*: Esta placa encontra-se fixada na parte inferior do *FireSpark 70*, logo acima da placa de identificação magnética posicionada na carcaça do CR. Na figura nº 30 é possível visualizar essa placa.

Figura nº 30: Placa RFID



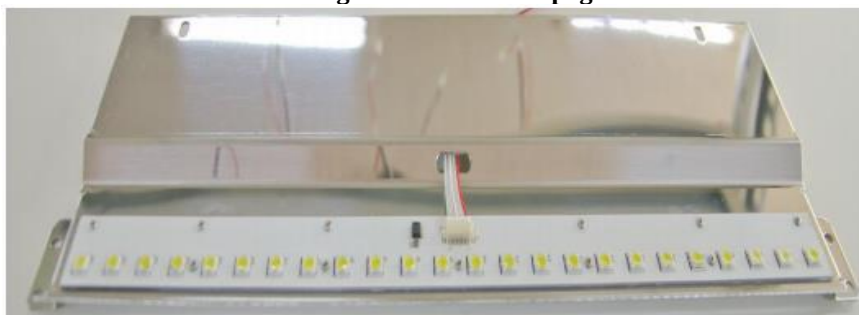
Fonte: A autora

Na parte inferior, próximo ao local de entrada do cassette, encontra-se uma placa de identificação *RFID*, posicionada no CR por meio de ímãs. Essa placa possui um número específico de *TAGs* de acordo com o modelo do equipamento, na figura nº 34, pode-se ver o local de encaixe da placa.

A placa *RFID* é a responsável pela leitura dos dados de identificação dos cassetes, presentes nas *TAGs* fixadas aos mesmos, lê também os dados de identificação do CR presentes na placa de dados externa, além de ser a responsável também pela transmissão dos dados identificados para a *main board*, para que dessa forma o aparelho tenha todos os dados iniciais necessários para seu correto funcionamento.

Eraser board ou placa apagadora: Esta placa tem a função de “apagar” a imagem radiológica existente no *plate image*, figura nº 31.

Figura nº 31: Placa apagadora



Fonte: *Basic Guide of FireCR Scanner DIGIRAY CORP.* (2019)

Composta por alguns *LEDs*, ela é acionada sempre que a digitalização é concluída e que a garra atinge o fim de curso próximo ao motor de passo, na região traseira do equipamento e começa a empurrar o IP para retornar a posição inicial, neste trajeto, ela é irradiada com uma luz branca que reage com a placa, provocando o “desaparecimento” da imagem que anteriormente encontrava-se no material. Apesar deste “apagamento”, ainda podem existir resíduos de imagem, e em alguns casos, é necessário que o IP seja “apagado” duas vezes em caso de utilizar um emissor de Raio-X de alta dosagem.

Placa *BLDC* ou *driver* de controle para o motor de passo: Como os motores *BLDC* ou *Brushless DC*, são motores de corrente contínua e sem escovas, constituem-se de ímãs permanentes que se encontram ligados a um eixo ou um cilindro rotativo, onde os mesmos são empurrados e/ou puxados através de campos eletromagnéticos existentes em seus enrolamentos, e consequentemente precisam de um controlador eletrônico de velocidade, também conhecido como controlador *BLDC*, figura nº 32.

Figura nº 32: Placa BLDC



Fonte: A autora

Main board ou placa principal: É a placa responsável pelo processamento do funcionamento do CR, possui um *chip* FPGA ALTERA CICLONE IV que utiliza uma frequência de operação de 83MHz, um Microcontrolador, circuito *driver* de acionamento dos motores de alinhamento do *laser*, alguns filtros e um conversor CC/CC com níveis de tensão e corrente de: +15 V/0,25A; -15 V/0,25A; +5 V/3,5A.

Figura nº 33: Main Board FireSpark 70



Fonte: A autora

Além disso, a *main board*, possui um SD card criptografado, um conector *ethernet*, um conector USB 2.0 e um botão *reset*, ambos com possibilidade de serem

acessados pela parte externa do equipamento, quando esta placa se encontra posicionada no módulo eletrônico.

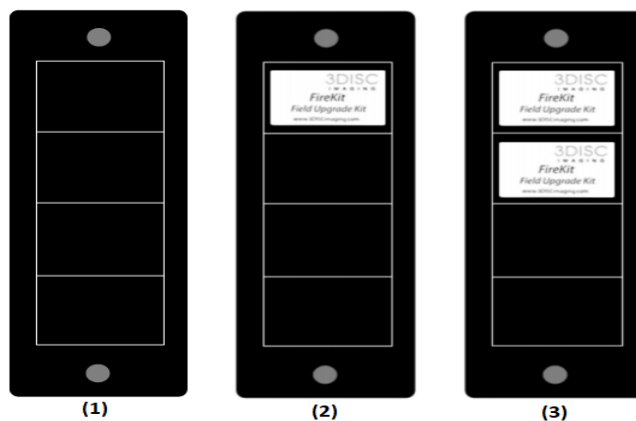
Figura nº 34: Identificação do posicionamento das TAGs RFID do equipamento



Fonte: Guia de anexo *FireKit (RFID Speed Tag) FireCR flash* (2019)

Conforme determinado pelo fabricante, são então fixadas as TAGs pela própria fábrica, quanto mais TAGs o aparelho possui, significa que sua velocidade de leitura e processamento da imagem é maior, no caso do equipamento estudado trata-se de um *FireSpark 70*, por consequência, trata-se do modelo mais veloz. Na figura nº 35, é apresentado o local onde as TAGs são fixadas, de acordo com o modelo.

Figura nº 35: Classificação das TAGs de acordo com o modelo do CR



Fonte: Guia de anexo *FireKit (RFID Speed Tag) FireCR flash* (2019) (Adaptada pela autora)

Na configuração (1) o modelo trata-se de um *FireCR Flash* ou *Spark 30*, para a configuração (2) refere-se ao CR *FireCR Flash* ou *Spark 50* e a última configuração (3) é referente ao equipamento *FireCR Flash* ou *Spark 70*, sendo esse último, o utilizado no CR estudado.

Além disso, os cassetes utilizados para leituras das imagens radiológicas, também recebem uma *TAG* em sua parte posterior, para identificação do mesmo no interior do equipamento, os dados da mesma podem ser observados nas configurações de controle do *escâner* do CR. Nas figuras nº 36 e 37 pode-se observar os dois modelos de antenas que podem ser utilizadas nos cassetes.

Figura nº 36: Modelo 1

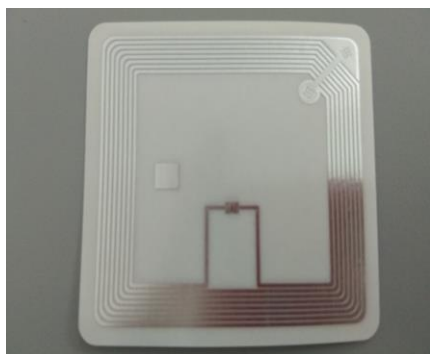


Figura nº 37: Modelo 2



Fonte: A autora

O *RFID* pode ser definido como sendo um dispositivo de radiofrequência e possui ondas eletromagnéticas que possibilitam armazenamento de dados no seu microchip que contém uma antena pequena capaz de emitir um sinal que identifica os dados armazenados nele. Para que o funcionamento do *RFID* possa ser possível, é necessário que o sistema possua: leitores, antena, servidor e uma interligação que torna possível o seu funcionamento.

O armazenamento dos dados faz com que seja possível o controle do produto, pois os dados armazenados ficam disponíveis com maior rapidez e eficácia, poupando tempo e redução de pessoas para esse fim. Esse processo permite, identificação, organização, contagem, acompanhamento e controle dos produtos etiquetados. Para melhor explicar o funcionamento dessa tecnologia I3C Soluções (2020, p. 1) diz:

Um aparelho com função de leitura envia, por meio de uma antena, sinais de radiofrequência em busca de objetos (etiquetas) a serem identificados. No momento em que um dos objetos (etiquetas) é atingido pela radiação, ocorre um acoplamento entre ele e a antena, o que possibilita que os dados armazenados no objeto sejam recebidos pelo leitor. Esse trata a informação recebida (identificação) e a envia para o computador.

As antenas transmitem as ondas eletromagnéticas de radiofrequência proporcionando a comunicação dos leitores de acordo com a frequência utilizada. Essas

antenas possuem características diferentes, as antenas eletricamente pequenas possuem estrutura simples, onde o comprimento físico é inferior ao comprimento da onda.

As antenas ressonantes possuem pequena largura de banda, dimensões com metade do comprimento da onda, antenas de banda larga, contém uma faixa larga de frequências, as antenas de abertura contam com uma região aberta e são capazes de propagar ondas eletromagnéticas.

As classificações das etiquetas *RFID* podem ser divididas em: *RFID Passiva*, mais comuns e econômicas, são alimentadas por um campo magnético, e possui como uma das principais desvantagens, a limitação de potência do recebimento das ondas eletromagnéticas do leitor. Elas existem somente nos modos de leitura ou leitura/gravação.

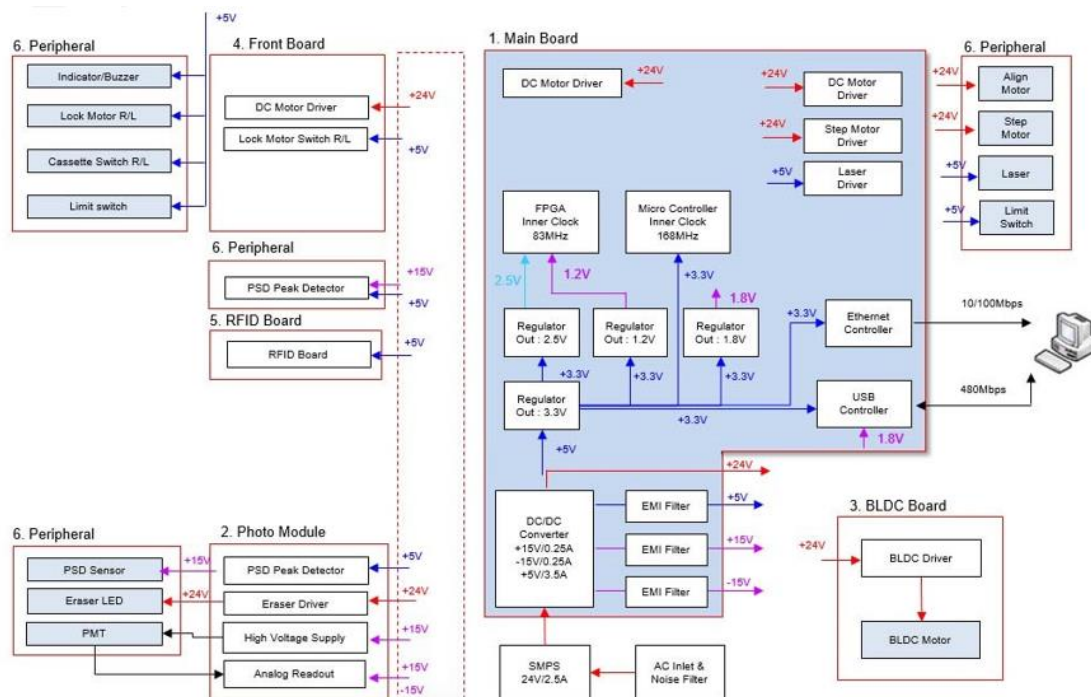
RFID. Ativa, possuem bateria e também transmissor, o que favorece para que exista um melhor alcance das etiquetas com o leitor, esses modelos de etiquetas são mais comuns em projetos mais potentes e específicos de acordo com a necessidade com possibilidades de funções diversificadas. Capaz de oferecer informações em tempo real não somente se acionadas, como por exemplo, enviar informações e sinalização de que uma porta está aberta, monitorar temperatura, ou mesmo rastreamento de objetos de valor com função de integração por GPS.

A figura nº 38, descreve de modo geral todas as placas de circuitos eletroeletrônicos existentes no *FireSpark 70*, e apresenta resumidamente como elas se comunicam. Como pode-se observar, toda informação e níveis de tensões necessárias para o funcionamento geral do CR, são provenientes da *main board*, já que nela se encontra o *chip* de FPGA CICLONE IV, um microcontrolador, 3 reguladores de tensão que fornecem respectivamente 2,5 V, 1,2 V e 2,8 V de tensão contínua sendo os dois primeiros para suprir o FPGA e último para o micro. Ela também fornece alimentação e sinal para os motores de alinhamento, *laser* e recebe sinais dos fins de curso do equipamento.

Além disso, a *main board*, fornece alimentação para as placas PSD, apagadora, PMT e as placas dos sensores da PSD, além de receber informações dos mesmos. Ela também alimenta os motores de travamento dos cassetes e a RFID. De modo geral, é uma placa que não apresenta defeitos com muita facilidade, somente em casos onde os sensores fornecem os dados corretamente, mas a resposta de saída é estranha, isso pode

ser visto em sua maioria no painel de controle do *scanner* dentro do *software* Quantor, lá os dados são apresentados em tempo real.

Figura nº 38: Diagrama de funções FireSpark 70



Fonte: *FireCR spark* Manual do usuário (2016)

3.2 EQUIPAMENTO CHROME E 3600 CR – ICRco

A seguir encontra-se uma foto do CR modelo 3600 LF (*Large form*) figura nº 39

Figura nº 39: Imagem real do 3600

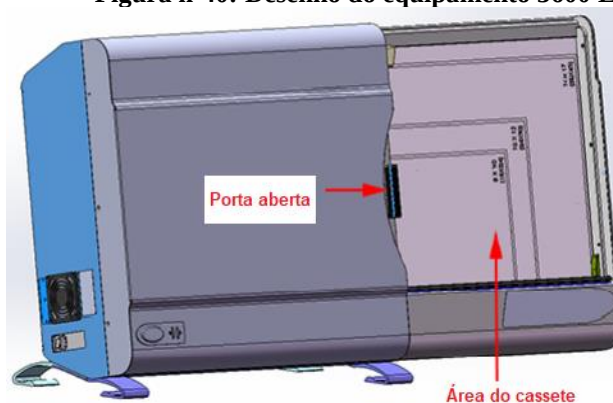


Fonte: *iCRco 3600 Service Manual* (2015)

Como pode ser visto na figura nº 39 o equipamento pode ficar em “pé” da mesma forma que vista anteriormente, ou ainda pode ser fixado na parede, de acordo com a disponibilidade física do local onde o aparelho irá operar.

A seguir pode-se ver a figura nº 40 que mostra o 3600 com a porta aberta e pode-se ver o local onde o cassete será posicionado para leitura, essa parte possui um eletroímã, para maior fixação do mesmo, e o encaixe deve ser feito na vertical, se atentando ao chanfro existente na parte inferior do mesmo e encaixando-o, inicialmente a 45° e ir soltando-o devagar de modo que o mesmo possa se acomodar no interior da máquina. A parte de fibra de carbono da cassete, fica fixa durante a leitura, e o IP, (parte superior) é arastado para o interior da máquina, e após o apagamento, retorna para o encaixe original.

Figura nº40: Desenho do equipamento 3600 LF

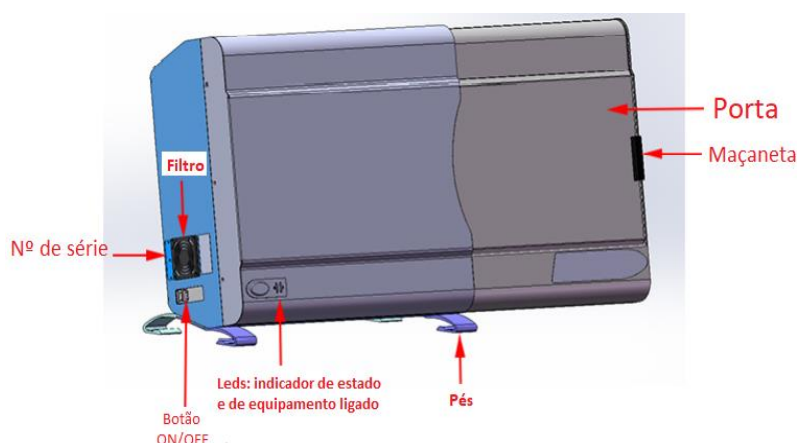


Fonte: iCRco 3600 Service Manual (2015)

Como pode ser visto na figura nº 40, existem indicações, além de instruções do encaixe correto do cassete para leitura, deve-se ter cuidado neste momento, pois, caso o mesmo não fique “preso” da forma correta, irá ficar “solto” e poderá ser arrastado para o interior da máquina de forma incorreta, podendo causar danos a ambos, e obrigando o operador a desmontar o CR para avaliação de prováveis avarias, liberação do equipamento para o funcionamento normal e a retirada do cassete preso.

Na figura nº 41, pode-se observar a indicação de outras partes que compõem o CR 3600.

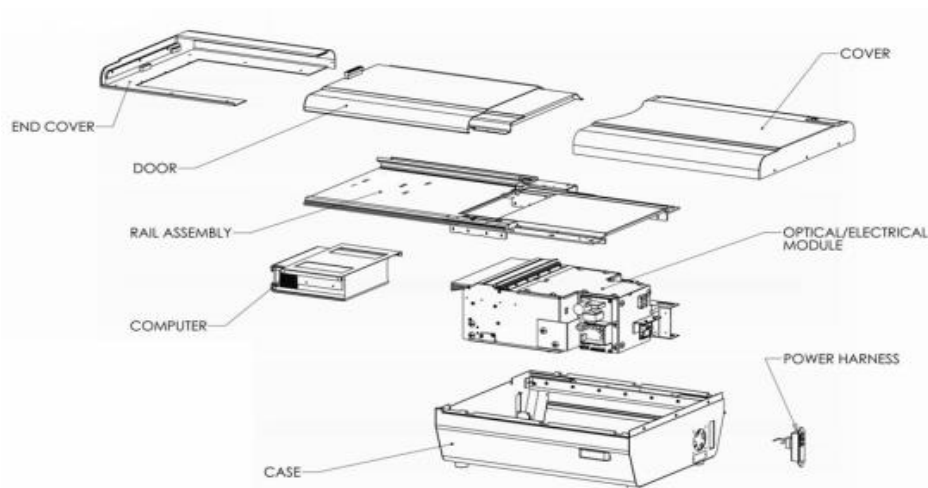
Figura nº 41: Visão fechada do 3600 LF



Fonte: *iCRco 3600 Service Manual* (2015)

Fora as partes identificadas na figura nº 41, próximo ao botão *ON/OFF*, existe também uma porta fusíveis para proteção do equipamento. Da mesma forma que no caso do *FireSpark 70*, o *led* indicador de estado, assume a condição “piscando” durante a leitura, com diferença de que o mesmo não faz modificação de sua cor durante as etapas de operação de seu funcionamento normal. A figura nº 42 apresenta a vista explodida do CR 3600.

Figura nº 42: Vista explodida CR 3600

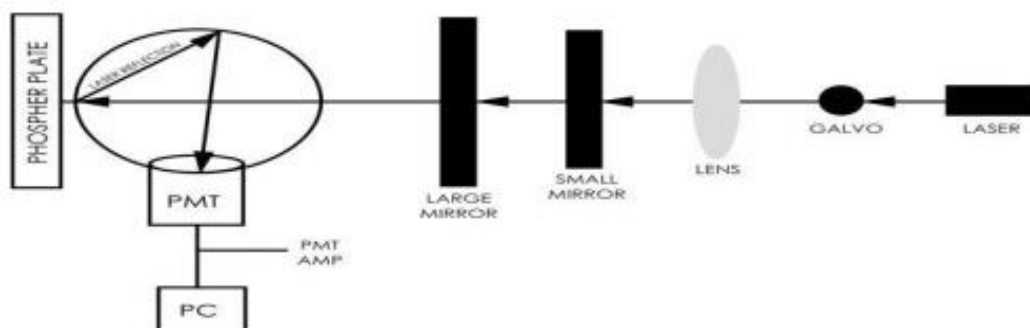


Fonte: *iCRco 3600 Service Manual* (2015)

Da mesma forma que o equipamento estudado ao longo desse trabalho, os equipamentos *Chrome* e 3600, tratam-se de leitores do tipo CR, mas o princípio básico de funcionamento e de leitura do IP (*Plate Image*), ocorre de uma forma bem diferente.

Na figura nº 43, pode-se observar a descrição do processo de obtenção da imagem, informada no manual de instruções do próprio fabricante.

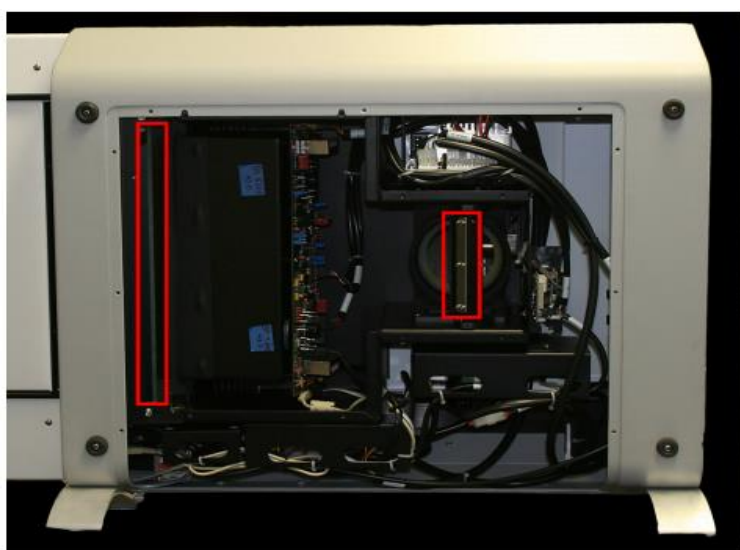
Figura nº 43: Sistema elétrico-digital manual família ICRco



Fonte: *iCRco 3600 Service Manual* (2015)

Como pode ser observado, um feixe de *laser*, atinge o galvo e é amplificado ou “focado” por meio da lente, a partir disso, o sinal é refletido para o espelho menor, que encontra-se no mesmo conjunto galvo/*laser*, conforme figura nº 44.

Figura nº 44: Vista inferior 3600, identificando o conjunto de espelhos fixos

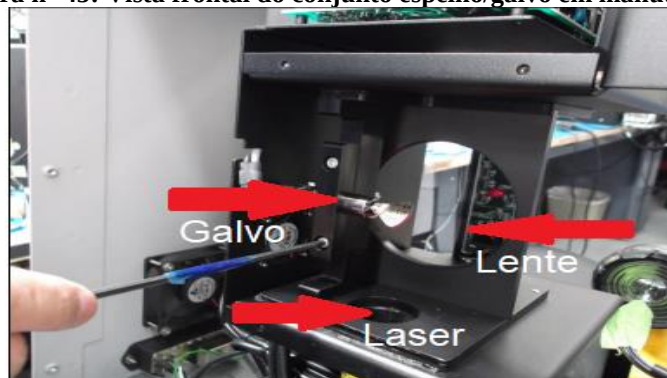


Fonte: *iCRco 3600 Service Manual* (2015)

Como pode ser visto na figura nº 44, o *laser* é refletido do espelho menor, para o espelho maior, de modo que o mesmo provoca reflexão para o chanfro existente na parte inferior do equipamento, que atravessa até a parte superior do mesmo.

Na figura nº 45, pode ser ter uma visão mais precisa dos componentes responsáveis pela geração da onda capaz de reagir com a luminescência da placa feita de fósforo onde encontra-se a imagem radiográfica.

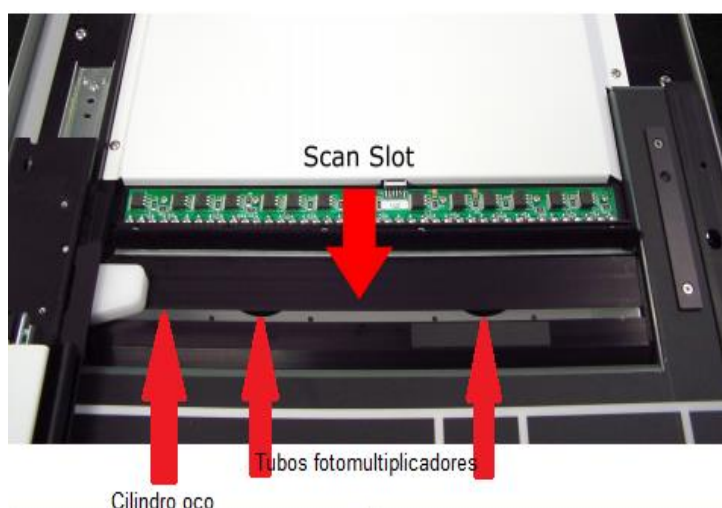
Figura nº 45: Vista frontal do conjunto espelho/galvo em manutenção



Fonte: *iCRco 3600 Service Manual* (2015) (adaptada pela autora)

Após o *laser* entrar pelo chanfro inferior do cilindro oco, onde os dois tubos fotomultiplicadores se localizam, e formaram uma linha do tamanho do chanfro, ele atinge a placa do IP através do chanfro superior, que é por onde o *Plate Image* é transportado por meio do trilho lateral do equipamento durante o processo de leitura da imagem radiográfica, e começa a varredura pixel a pixel da imagem formada. Na figura nº 46, é possível ver, cada uma das partes citadas anteriormente, que fazem parte do processo de digitalização do Raio-X.

Figura nº 46: CR 3600 parcialmente desmontado na parte superior



Fonte: *iCRco 3600 Service Manual* (2015) (adaptada pela autora)

Além das partes citadas anteriormente, na figura nº 46, pode-se também ver a placa apagadora, responsável pela “luz branca”, que ao ser incidida sobre o IP, provocará o “desaparecimento” da imagem que anteriormente existia ali.

Ao fazer um comparativo com o modelo 3600, no caso do *Chrome* o mesmo faz leituras de imagens radiológicas no mesmo sentido que o *FireSpark 70*: um cassete é inserido horizontalmente e o IP é puxado para o interior da máquina, o *Plate Image* é lido e retorna para o cassete e está pronto para a próxima leitura, entretanto, no caso ilustrado na figura nº 47, este modelo utiliza um carrinho de transporte para a fixação do IP e utiliza uma rosca sem fim para este processo.

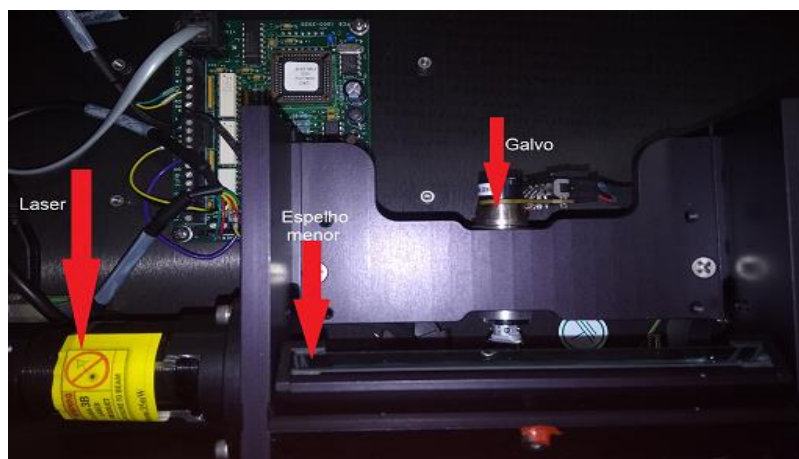
Figura nº 47: CR modelo *Chrome*



Fonte: A autora

O modelo *Chrome* utiliza espelhos um pouco menores, mas de modo geral ele possui basicamente a mesma estrutura do 3600, diferindo principalmente na quantidade tubos fotomultiplicadores e quantidade de placas de circuito interno, a figura nº 48 ilustra o conjunto responsável pela emissão de luz necessária para reagir com o IP.

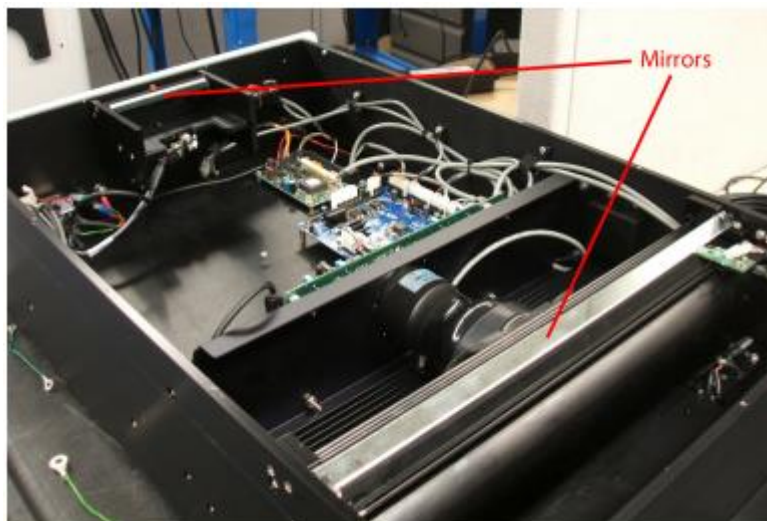
Figura nº 48: Conjunto Galvo, *laser* e espelho menor



Fonte: A autora

Como pode ser visto na figura nº 49, tanto o *Chrome* quanto o 3600 possuem a mesma quantidade de espelhos e em ambos os casos, eles encontram-se posicionados na mesma região e com o mesmo ângulo de inclinação.

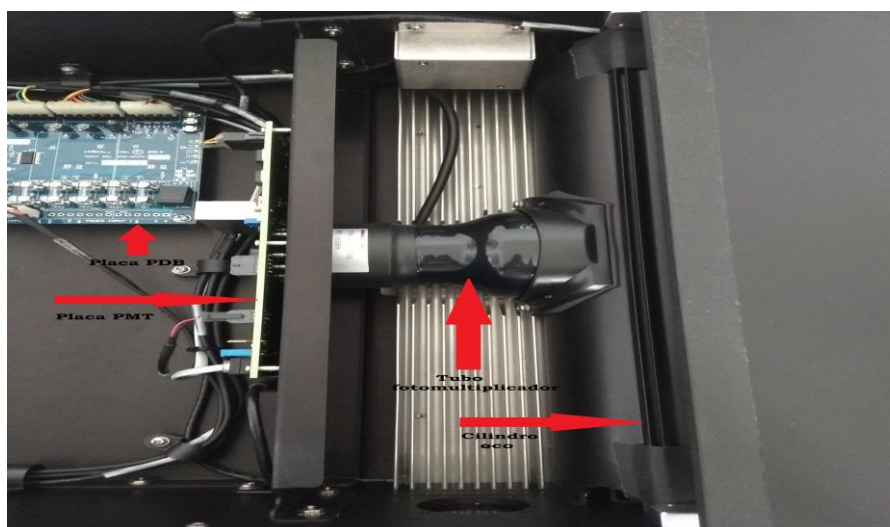
Figura nº 49: Identificação dos espelhos do CR *Chrome*



Fonte: *iCRco Chrome Service Manual* (2015)

Diferente do caso do CR 3600, o CR *Chrome*, apresenta além de uma estrutura mais leve, seu circuito interno também opera de forma mais simplificada, como pode ser observado, o dispositivo conta somente com um tubo fotomultiplicador, por conta disso a leitura deste equipamento torna-se mais lenta em comparação com a do modelo 3600: Observe a figura nº 50 a vista superior do tubo fotomultiplicador.

Figura nº 50: Vista superior do tubo fotomultiplicador



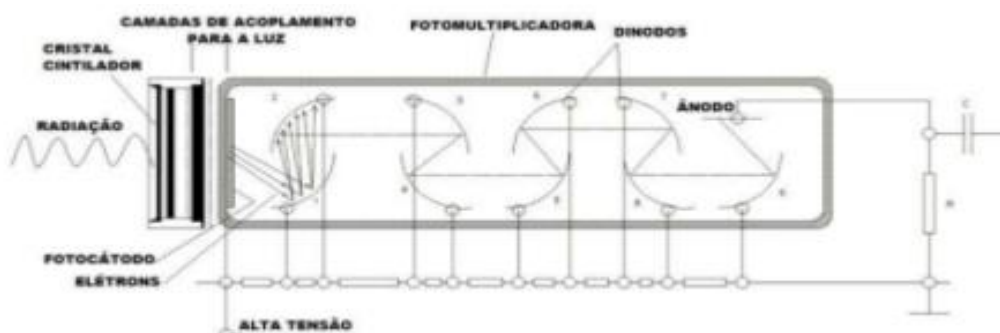
Fonte: A autora

Na figura nº 50, pode-se observar o posicionamento do tubo fotomultiplicador na parte frontal do CR, pode-se observar que estruturalmente falando, tanto *Chrome* quanto 3600, em especial neste posicionamento de tubo fotomultiplicador e placa PMT, são basicamente iguais.

3.2.1 TUBOS FOTOMULTIPLICADORES

Os PMT's ou tubo fotomultiplicadores, tratam-se de dispositivos eletrônicos desenvolvidos para detecção de *fótons* utilizando o efeito fotoelétrico em associação a emissão secundária para que possa converter luz em sinal elétrico. Este tubo absorve a luz que é emitida pelo cintilador e em seguida, a reemite em forma de elétrons. Os tubos PMTs são frequentemente utilizados por terem alta eficiência quântica e alta amplificação, figura nº 51.

Figura nº 51: Funcionamento de um tubo fotomultiplicador



Fonte: IPEN/CNEN-SP (2015, p. 03) Aula 6c Instrumentação nuclear medição

Partes que compõem um PMT Fotocátodo: Após uma janela de entrada, encontra-se um fotocátodo, constituído de um material onde os elétrons de valência encontram-se fracamente ligados, além de possuir uma seção transversal larga para converter fótons em elétrons por meio do efeito fotoelétrico, como consequência, a luz é “criada” no cintilador, em seguida atinge o fotocátodo do PMT, liberando no máximo um fotoelétron por fóton.

Dínodos: Utilizam um potencial de tensão onde, um grupo de elétrons primários é eletrostaticamente acelerado e então focado de modo que os mesmos sejam capazes de atingir o primeiro dínodo, com energia suficiente para liberar mais elétrons. O tubo possui uma série de dínodos ou “estágios”, formados de material com baixa capacidade de trabalho. Os fotoelétrons são multiplicados por emissão secundária existe a produção

de elétrons, de modo que no próximo dínodo exista uma tensão mais alta, com potencial cada vez maior (cerca de 100-200V entre os dínodos), fazendo assim, com que os elétrons liberados a partir do primeiro estágio sejam acelerados na direção do próximo.

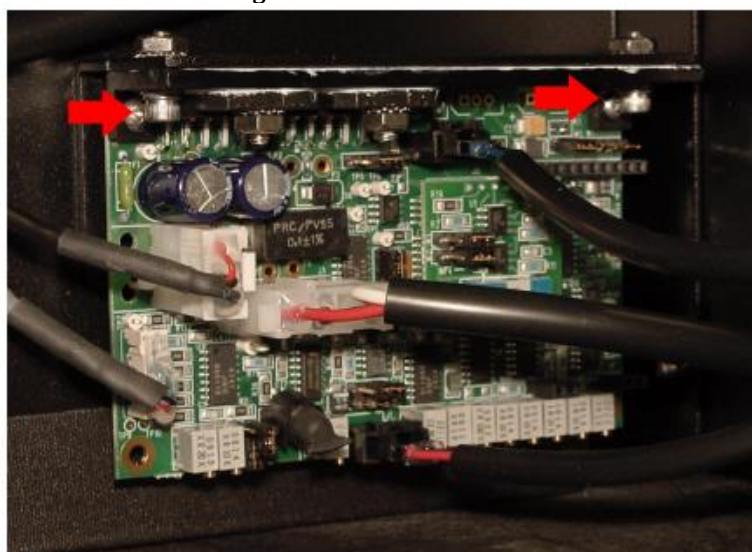
Um tubo fotomultiplicador, geralmente é constituído de 6 a 14 dínodos, analisando a condição de ganho do mesmo, considera-se por exemplo um total 10 dínodos que ocasionará em um ganho total, ou fator de amplificação de elétrons de aproximadamente 10^6 quando atingem o ânodo. Em geral, utiliza-se tensões nas faixas de 500 a 3000 V. Quando atingem o dínodo final, os elétrons disponíveis são suficientes para produzir um pulso de magnitude suficiente para posteriores amplificações.

Segundo UTFPR, (S/D, aula 06) como principal diferença na velocidade de leitura entre os CRs 3600 e *Chrome*, pode-se ilustrar que no primeiro caso, o equipamento possui dois tubos fotomultiplicadores, já no caso do segundo modelo, o mesmo possui somente um tubo PMT, desta forma pode-se notar que no quesito velocidade na leitura de imagens radiológicas o CR 3600 é o que mais se aproxima do CR *FireSpark 70*, porém ele é muito mais pesado e caro em comparação ao mesmo.

3.2.2 CIRCUITOS ELETROELETRÔNICOS CR 3600 E *CHROME*

Placa Galvanométrica: Esta é a placa Galvo servo e contém um amplificador de *feedback* ou realimentação, resultando em um controle bastante preciso do espelho montado no eixo do galvanômetro de varredura. Na prática o eixo do motor Galvo oscila para frente e para trás, formando um arco de aproximadamente 30° graus com uma frequência de 90Hz. Existe um pequeno espelho preso no eixo, capaz de interceptar o feixe produzido pelo *laser* estático, dessa forma, uma varredura (escaneia) toda a extensão do *slot* para a leitura da placa de imagem. Na figura nº 52 encontra-se a ilustração dessa placa.

Figura nº 52: Placa Galvanométrica



Fonte: *iCRco Chrome Service Manual* (2015)

Placa indicadora: Possui duas lâmpadas *LED*, onde as mesmas são responsáveis por indicar o *status* da do CR. Quando a luz se encontra na cor verde indica que o equipamento está ligado. Já quando a lâmpada está amarela e piscando, o aparelho encontra-se em processo de leitura do IP, conforme pode ser visto nas figuras nº 53 e 54.

Placa *Anti-Jitter*: Trata-se de uma pequena placa em formato de L, e localiza-se na parte frontal do equipamento, na extremidade do cilindro de integração oco.

Placa PMT: Localizada na parte frontal do equipamento, conectada nas extremidades dos tubos foto multiplicadores. Ao longo do processo de digitalização, os sinais gerados pelos tubos PMTs, são transmitidos ao computador utilizando um cabo de interface/comunicação *USB*. Um sinal de disparado gerado no *laser*, passa a ser transmitido para a placa PMT, para que a mesma seja capaz de captar uma linha por vez de dados do IP, a partir de então a imagem é montada por linhas de dados capturados, sendo esses mantidos em registros e traduzidos para um sinal de comprimento de 16 *bits* de arquivo.

Figura nº 53: Placa indicadora vista superior

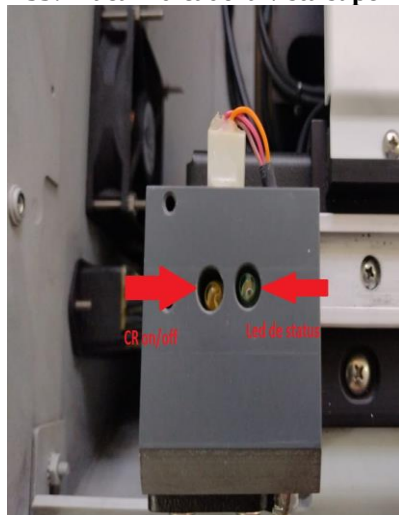
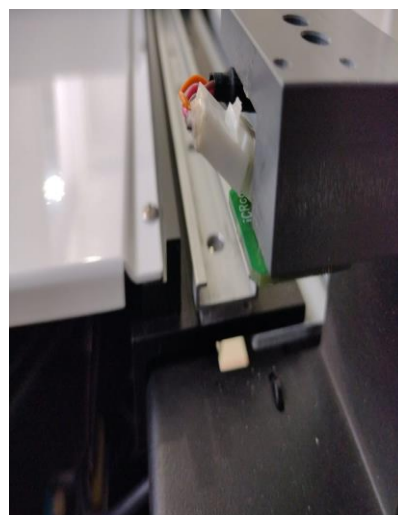


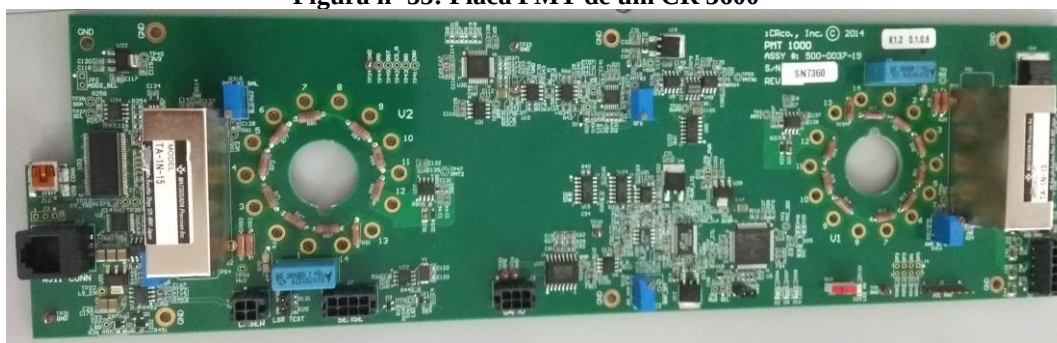
Figura nº 54: Placa indicadora vista lateral



Fonte: A autora

Como os tubos PMTs, são responsáveis pela amplificação dos fótons do IP conectado ao CR, essa placa é responsável pela leitura desse sinal elétrico e convertê-lo para digital. Não é possível interromper o processo de obtenção de dados, pois isso não fará com que o CR pare e retorne ao cassete, somente os dados obtidos serão perdidos. Pode-se fazer o ajuste de ganho para fazer a compensação e a redução da sensibilidade dos tubos PMTs devido a ao desgaste por uso do dispositivo, esse ajuste pode ser feito com o auxílio do *software* de aquisição. Na figura nº 55 pode-se observar uma placa PMT utilizada em um equipamento 3600:

Figura nº 55: Placa PMT de um CR 3600

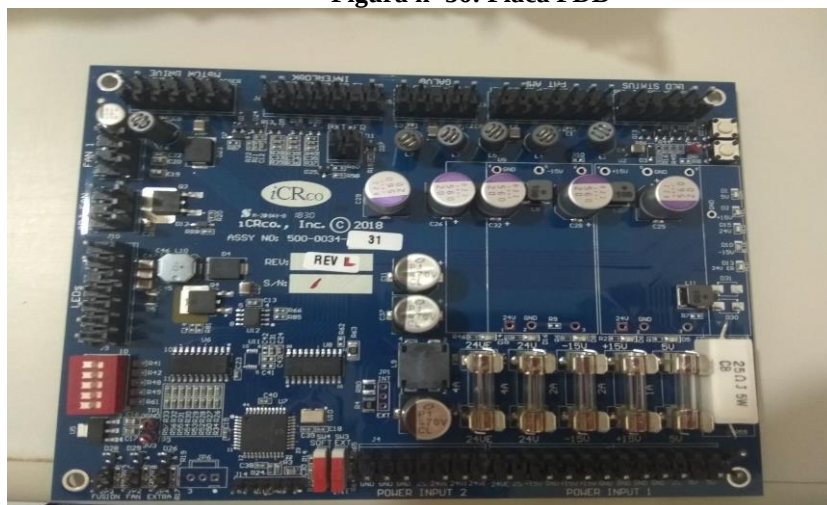


Fonte: A autora

Placa de distribuição de energia: Possui uma fonte de tensão grande de: +24V DC, $\pm 15V$ DC, +5 V DC; uma fonte de tensão pequena: +24V DC e uma fonte de alta tensão para alimentação da placa PMT: -1000V DC. Além disso essa placa possui duas

chaves laterais para verificação das conexões das demais placas. Veja a figura nº 56 da placa PDB.

Figura nº 56: Placa PDB



Fonte: A autora

Placa apagadora de *LED*: Essa placa utiliza uma luz de comprimento de onda único para apagar o IP. Essa placa é acionada logo que o equipamento termina o processo de aquisição de imagem e atingiu o final do interior da máquina, a partir de então a placa é acionada e ilumina a placa de imagem, enquanto ela retorna à posição inicial. Veja a figura nº 57 da placa apagadora.

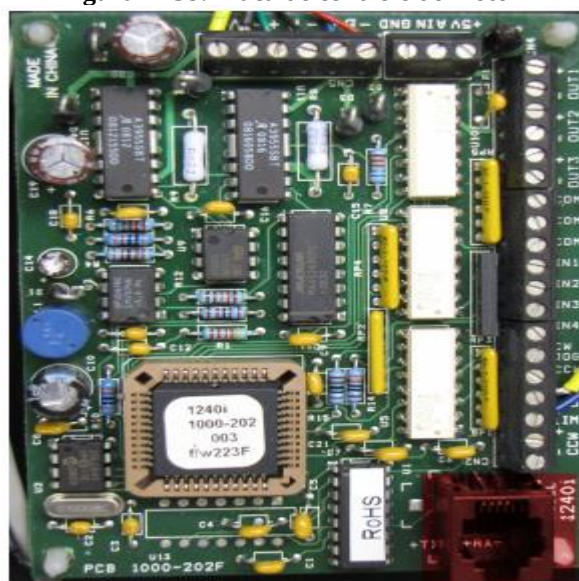
Figura nº 57: Placa apagadora da família CR Chrome



Fonte: A autora

Placa de controle do motor: Essa é a placa responsável pelo controle do motor de passo, responsável pelo deslocamento do IP no interior do CR e devolvê-lo a posição inicial, no interior do cassette. Observe a figura nº 58 mostrando essa placa.

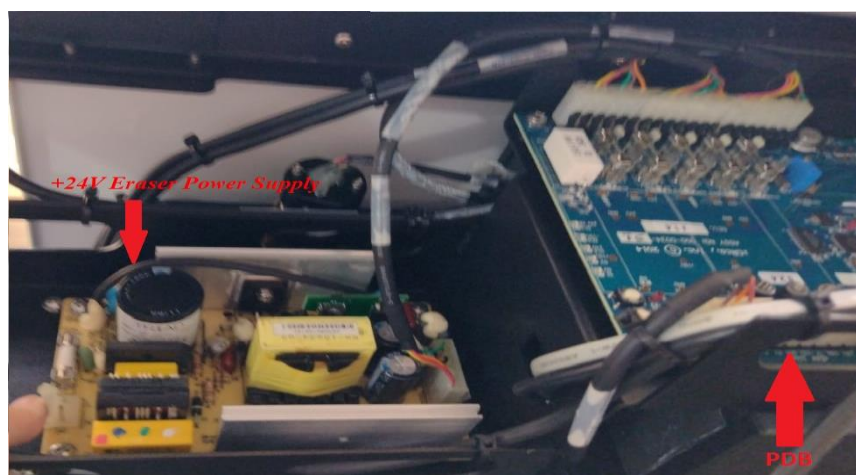
Figura nº 58: Placa de controle do motor



Fonte: *iCRco Chrome Service Manual* (2015)

O equipamento 3600 ainda apresenta as placas de fonte de energia da placa apagadora, fonte de alimentação quad, como pode ser observado na figura nº 59, o posicionamento de cada uma delas descritas anterior do CR.

Figura nº 59: +24V Eraser Power Supply



Fonte: A autora

A nível de circuitos eletroeletrônicos, o CR *Chrome* apresenta menos placas, apenas: PMT, Placa de distribuição, *LED* apagadora, controle do motor e placa galvânica. A figura nº 60 é apresentada uma ilustração de algumas dessas PCBs.

Figura nº 60: Algumas placas do CR *Chrome*



Fonte: Treinamentos *iCRx* (2020)

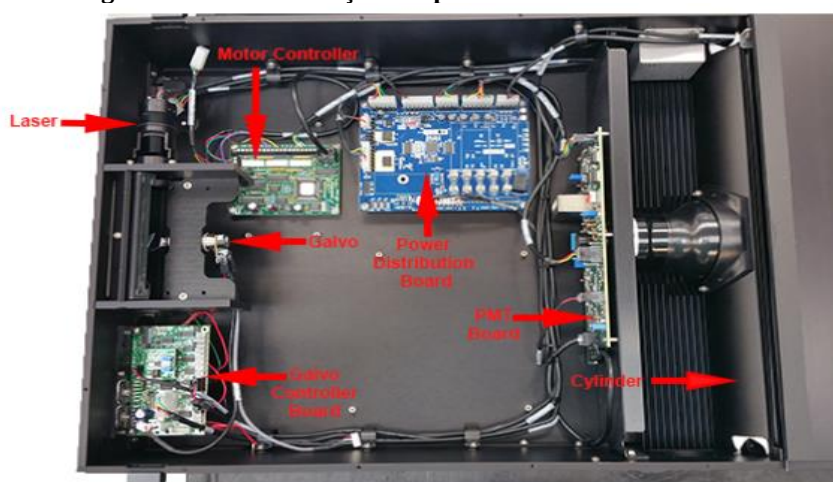
Como pode ser observado, o CR de modelo *Chrome*, apresenta um *layout* mais sucinto e com menos placas que o outro modelo da mesma família o 3600, consequentemente também apresento o processo de leitura mais lenta.

Na figura nº 61 é possível observar a vista superior do CR *Chrome* aberto e com as tampas externas removidas, nota-se o posicionamento das placas de circuito interno do mesmo.

Além disso, é possível observar que o *layout* desenvolvido por este fabricante apresenta uma sobra considerável de espaço interno, mesmo este CR sendo mais leve que o outro do mesmo fabricante, dando uma visão de mal aproveitamento e distribuição interna de elementos do mesmo.

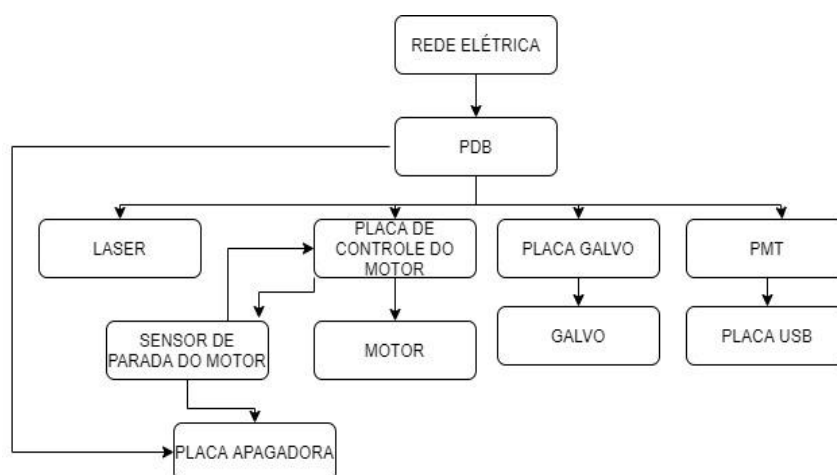
Na figura nº 62, pode-se também, ter uma visão geral de como o CR *Chrome* funciona, observando as placas de circuitos eletroeletrônicos responsáveis pelo seu funcionamento.

Figura nº 61: Identificação das placas do CR Chrome



Fonte: *iCRco Chrome Service Manual* (2015)

Figura nº 62: Fluxograma funcionamento do CR Chrome



Fonte: A autora

No caso deste modelo, como descrito na imagem nº 62, pode-se observar que o CR *Chrome* é alimentado pela rede, passa por uma fonte e a alimentação chega até a placa de distribuição de energia, a partir daí todas as placas recebem energia, inclusive os periféricos *laser*, galvo, sensor de parada do motor e o motor, pode-se notar também que a placa apagadora é acionada sempre que o sensor identifica que o IP chegou até a parte posterior do CR.

4 RESULTADOS E DICUSSÕES

Após analisar o funcionamento e os aspectos construtivos do *FireSpark 70* e os outros e modelos de CR's, foi feito um estudo comparativo para elencar os pontos em comum e as principais diferenças estruturais e de operação entre os modelos. Desta forma foram elaboradas as tabelas nº 01, 02, 03, 04 e 05, sendo respectivamente, a tabela comparativa de partes mecânicas, tabela de circuitos eletroeletrônicos, tabela comparativa de calibração, método de leitura e tabela comparativa do funcionamento geral do *software*.

Algumas das características foram identificadas ao longo dos ensaios, realizados em cada um dos 3 CRs, desta forma observando a velocidade, praticidade no transporte/ou instalação e/ou precisão.

Tabelan° 01: Comparativo entre partes mecânicas

CARACTERÍSTICA	MODELO		
	<i>Fire Spark 70</i>	3600 LF	<i>Chrome</i>
Peso	21Kg	35Kg	25,4Kg
Comprimento	80,3 cm	112,49 cm	77,96cm
Modo parede/Modo mesa	Sim	Sim	Sim
Mancal de deslizamento	Não	Sim	Sim
Trilhos	Não	Sim	Não
Correia	Sim	Não	Não
Fuso	Não	Não	Sim
Trilhos	Não	Sim	Não
Cooler	Não	Sim	Sim
Fim de curso	Sim	Sim	Sim
Caixa com elevação	Não	Não	Sim
Garra para IP	Sim	Não	Não
Motor posicionado na parte traseira	Sim	Não	Sim
Possui lente?	Sim	Sim	Sim
Possui mais de um espelho fixo?	Não	Sim	Sim
Galvo+espelho menor+lente (em módulo)	Não	Sim	Sim
Espelho rotativo do laser de escâner	Sim	Não	Não
Possibilidade de retirar todo o	Sim	Sim	Não

sistema eletroeletrônico inteiro do case			
Mesa com eletroímã para segurar o cassete	Não	Sim	Sim
Pequena abertura para inserção do cassete	Sim	Sim	Não
Cassete puxado horizontalmente para leitura	Sim	Não	Sim
Precisa de calibração com cassete?	Sim	Não	Não
Possibilidade de leitura de cassetes de outros fabricantes?	Não	Não	Não
Cassete com duas travas laterais (uma a esquerda e outra a direita)	Sim	Não	Não
Possui cassete sem travas?	Sim	Não	Não
Modelo híbrido	Não	Não	Sim(<i>Chrome DUO</i>)
Parafusos obedecem ao SI	Sim	Não	Não
Em caso de falha a máquina inicia uma nova leitura ou volta de onde parou	Nova leitura	Continua de onde parou	Não verificado
Estrutura magnética para tag <i>RFID</i>	Sim	Não	Não

Fonte: A autora

As características e modelos dos equipamentos citados na tabela nº 01 nos comparativos das partes mecânicas são diferentes quando analisados, cada máquina tem peso, comprimento e modelo específico. Outras funções são iguais entre os três modelos: ambas possuem modo parede/modo mesa; fim de curso; possuem lentes; não há possibilidade de leitura de cassetes de outro fabricante.

As observações mostram que nas respostas positivas nos três equipamentos da referida tabela, significa que foi possível verificar essa hipótese, ou mesmo a existência de como executar o procedimento seguindo o manual do fabricante. No que se refere as respostas negativas, significa que não há possibilidade de executar ou o equipamento não possui essa função/peça.

Mas também existem funções iguais em duas máquinas, variando entre elas, como também funções que ainda não foi verificado, como em caso de falha a máquina inicia uma nova leitura ou volta de onde parou. Somente em um equipamento não foi possível observar.

Tabela nº 02: Comparativo de circuitos eletroeletrônicos

CARACTERÍSTICA	MODELO		
	<i>Fire Spark 70</i>	3600 LF	<i>Chrome</i>
<i>PMT</i>	Sim	Sim	Sim
<i>PSD</i>	Sim	Não	Não
<i>Power Distribution Board -PDB</i>	Não	Sim	Sim
<i>Power Supply Board(PSB)</i>	Não	Sim	Não
<i>Eraser Power Supply Board (EPSB)/Placa apagadora</i>	Sim	Sim	Sim
<i>Quad Power Supply Board</i>	Não	Sim	Não
<i>Motor controller board(MCB)</i>	Não	Sim	Sim
<i>Galvo controller board</i>	Não	Sim	Sim
<i>Galvo</i>	Não	Sim	Sim
<i>BLDC Board</i>	Sim	Não	Não
<i>Fornt Board</i>	Sim	Não	Não
<i>RFID Board</i>	Sim	Não	Não
<i>Interconnection Board</i>	Sim	Não	Não
<i>Main Board</i>	Sim	Não	Não
<i>Laser optic plate</i>	Sim	Não	Não

Fonte: A autora

A análise da tabela nº 02 dos comparativos dos circuitos eletroeletrônicos, mostram que os três equipamentos possuem a placa PMT. Entretanto, de acordo com a tecnologia utilizada para a fabricação de cada máquina, provocará uma mudança no circuito dessa placa. Entretanto, de modo geral alguns pontos são comuns entre todas elas, como é o caso do circuito divisor de tensão utilizado para amplificar o sinal recebido do tubo PMT.

O CR *FireSpark 70* apresenta uma quantidade inferior de placas de circuitos eletroeletrônicos em relação ao 3600 LF, mostrando que o fabricante optou por um sistema mais enxuto e preciso, capaz de executar as mesmas funções com maior qualidade de imagens e circuitos eletroeletrônicos reduzidos.

Tabela nº 03: Comparativo de calibração

CARACTERÍSTICA	MODELO		
	<i>FireSpark 70</i>	3600 LF	<i>Chrome</i>
Auto alinhamento	Sim	Não	Não
Calibração por cassete	Sim	Não	Não
Ajuste de ganho da PMT	Sim	Possível, mas não testado	Possível, mas não testado
Alinhamento de galvo	Não	Sim	Sim
Ajuste de ângulo de espelhos	Não	Sim	Sim
Ajuste de ângulo de galvo	Não	Sim	Sim

Fonte: A autora

No que se refere a tabela nº 03 - comparativo de calibração, esse processo é necessário para ajuste e nivelamento do equipamento de modo a torná-lo coerente do ponto de vista operacional no processo de aquisição de imagens. No caso do *FireSpark 70* por exemplo, que utiliza um feixe de fibra ótica e cada fibra tem uma sensibilidade específica a luz, é necessária uma correção geral para garantir uma imagem homogênea e mais próximo do ideal.

Tabela nº 04: Comparativo de método de leitura

CARACTERÍSTICA	MODELO		
	<i>FireSpark 70</i>	3600 LF	<i>Chrome</i>
Espelho refletor rotativo e lentes <i>F-Theta</i>	Sim	Não	Não
Fibra ótica	Sim	Não	Não
Tubo fotomultiplicador	Não	Sim(2)	Sim(1)
Dois espelhos fixos	Não	Sim	Sim
Placa PMT	Sim	Sim	Sim
Leitura de imagem por placa de fósforo	Sim	Sim	Sim
Conversor A/D	Sim	Sim	Sim
Resolução de 16 bits	Sim	Sim	Sim
Velocidade de leitura	1 min e 20 s	60 linhas/segundo	1 min e 20 s
Quantidade de cassetes lidos por hora	80/h(cassete 35x43)	80/h(cassete 35x43)	80/h(cassete 35x43)

Fonte: A autora

Analisando a tabela nº 04 percebe-se que o CR *FireSpark 70* utiliza fibra ótica no processo de aquisição de imagens, tanto o CR 3600 quanto o CR *Chrome* utilizam tubos foto multiplicadores para realizar o mesmo processo de aquisição.

O equipamento *FireSpark 70* possui um espelho refletor rotativo que reflete o *laser* para a lente responsável por intensificar este sinal, enquanto os outros CRs possuem um galvo que vibra em uma frequência muito alta, dando a impressão de que o mesmo encontra-se parado, e é capaz de refletir o *laser* para o espelho menor. Por conta disso, a qualidade da imagem gerada pelo *FireSpark 70* é superior aos demais equipamentos.

A tabela 5 seguinte resume algumas características em relação ao software utilizando no computador para receber e analisar a imagem do exame radiográfico.

Tabela nº 05: comparativo de funcionamento de software

CARACTERÍSTICA	MODELO		
	<i>FireSpark 70</i>	3600 LF	<i>Chrome</i>
<i>Layout</i> mais simples	Sim	Não	Não
Possibilidade de excluir o exame sem finalizar o estudo	Não	Sim	Sim
Capacidade de fazer “varredura” e identificar o equipamento conectado	Não	Sim	Sim
Formatos de arquivo de imagem: <i>DICOM 3.0, TIFF, BMP, JPEG</i> • Envio <i>DICOM</i>	Sim	Sim	Sim
Gravação de <i>CD/DVD</i>			
Janelamento	Sim	Sim	Sim
Versão demo	Sim	Sim	Sim
Cabo <i>USB</i> blindado	Sim	Não	Não
Paciente de emergência	Sim	Não	Não
Necessário uso de <i>Key/licença/doungle</i>	Sim	Sim	Sim
Versão do <i>software</i> humano e <i>vet</i>	Sim	Sim	Sim

Possibilidade de incluir/editar “membros” do corpo	Sim	Não	Não
Possibilidade de continuar o “estudo” posteriormente	Não	Sim	Sim
Possibilidade de realizar o exame sem saber qual parte do corpo está sendo analisada	Não	Sim	Sim
Ao rejeitar uma imagem deve apresentar uma justificativa para a exclusão	Não	Sim	Sim
Apresenta capacidade de armazenamento do disco	Não	Sim	Sim
Apresentação do <i>status</i> real dos parâmetros do CR	Sim	Não	Não
Calibração do equipamento via <i>software</i>	Sim	Não/somente alteração de parâmetro, sem calibração	Não/somente alteração de parâmetro, sem calibração
Leitura e gravação da memória do CR	Sim	Sim	Sim
Mensagens de erro em grande quantidade	Não	Sim	Sim
Possibilidade de resetar todos os parâmetros alterados	Sim	Não	Não
Necessidade de informar ao <i>software</i> a posição em que o equipamento se encontra	Sim	Não	Não
Zoom, medidas, identificação de lados, imagem lado a lado	Sim	Sim	Sim
Necessário uso de <i>Key/licença/doungle</i> específico para mamografia, por exemplo	Não	Sim	Sim

Fonte: A autora

Pode-se analisar a partir da tabela nº 05, que apresenta como função dos equipamentos 3600 e *Chrome* a capacidade de fazer varredura na rede e identificação de qual equipamento encontra-se conectado ao *software* de aquisição de imagens, já que ambos utilizam o mesmo programa, pois são fabricados pela mesma empresa. No caso

do *FireSpark 70* seu *software* não possui essa função, sendo necessário determinar tanto o modelo quanto em que posição o equipamento irá operar durante a instalação do mesmo no computador.

Notou-se também que, a qualidade do cabo *USB* do *CR FireSpark 70* é superior aos demais, pois ele possui um filtro e uma blindagem que é capaz de impedir interferências eletromagnéticas durante o processo de aquisição de imagens. Além disso, o programa utilizado pelo *FireSpark 70* tem como uma das funções a apresentação dos parâmetros da máquina em tempo real, no caso dos outros dois equipamentos, essa função não existe, pode-se somente ler/escrever sobre os mesmos, mas não é possível observar as variações em tempo real.

4.1 SIMULAÇÃO FUNCIONAL DO EQUIPAMENTO POR MÁQUINA DE ESTADOS FINITOS

Máquinas de estados finitos referem-se à máquinas abstratas, mas capazes representar partes essenciais de máquinas reais. Desta forma, são apropriadas tanto do ponto de vista teórico quanto prático, especialmente quando pensa na modelagem de amplo espectro de máquinas em geral, como por exemplo: mecânicas, eletrônicas, de software etc.

As máquinas de estados finitos podem ser divididas em dois tipos: os transdutores e os reconhecedores (que também são conhecidos como aceitadores) de linguagens. No primeiro caso, tratam-se de máquinas que possuem entrada e saída, em contrapartida o segundo caso tratam-se de máquinas com somente duas saídas possíveis: sendo uma delas de “aceitação da entrada”, já a outra condição vem a ser a “rejeição da entrada”.

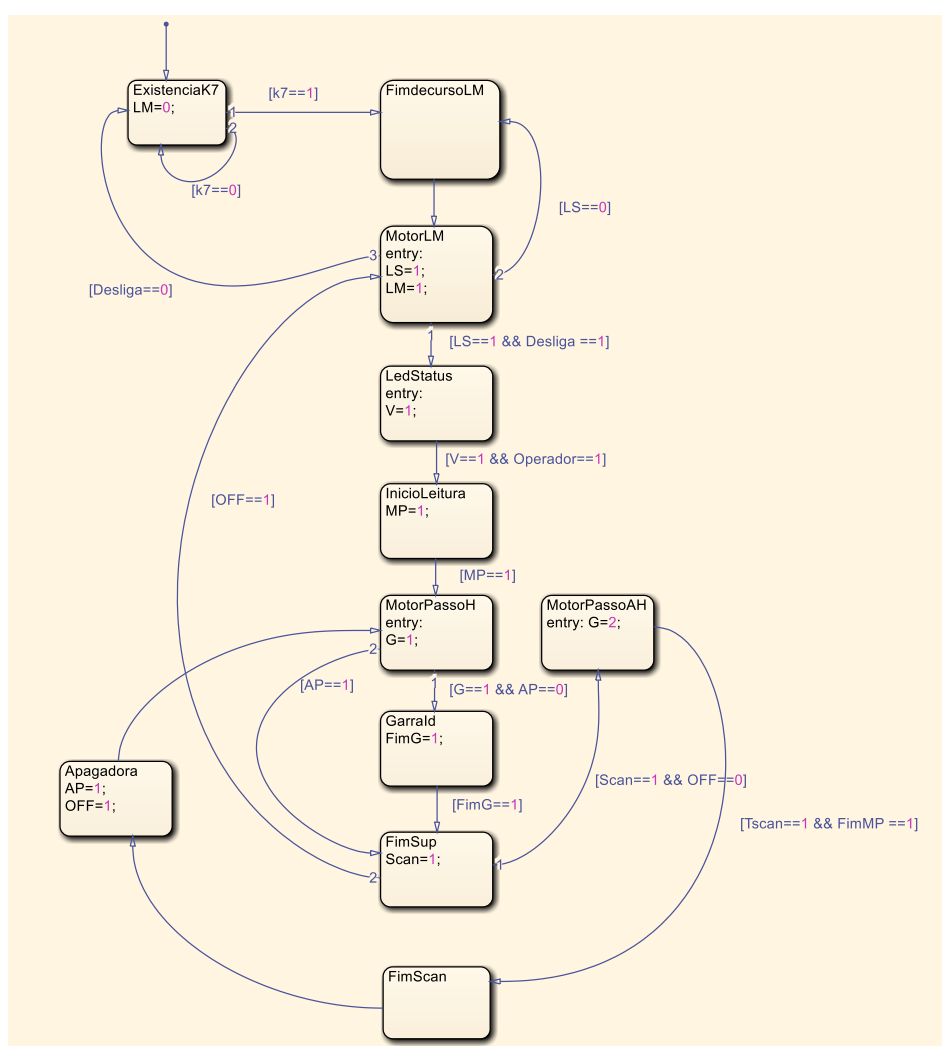
A teoria que engloba as máquinas de estados, possui como principal característica memória limitada, somente pode ser disposta utilizando o conceito de “estado” que um determinado equipamento/elemento pode assumir. Essas máquinas tratam-se de uma estrutura matemática e junção de estados pode ser classificado como um conjunto finito das mesmas.

Associando esses conceitos a parte de computação gráfica, é possível utilizar simuladores para observar o comportamento dessas máquinas, como é o caso do MATLAB/Simulink. Neste software é possível encontrar a biblioteca *Stateflow*, onde

é possível realizar a modelagem e simulação lógica de máquinas de estados e fluxogramas, através de uma linguagem gráfica, que também fornece diagramas de transição de estado, além de tabelas de transição destes estados e até mesmo “tabelas verdade”.

Diante disso e dos fluxogramas apresentados no capítulo 3, foi elaborado uma simulação no *Stateflow* referente à operação do equipamento *FireSpark 70*. A imagem na Figura 63 ilustra a simulação desenvolvida tendo como base o fluxograma, fluxograma da Figura nº 20.

Figura nº 63: Simulação leitura de IP básica *FireSpark 70*.



Fonte: A autora

Como pode ser observado na figura nº 63, quando um cassete é inserido no CR, representado pelo estado “existenciaK7”, o mesmo acaba acionando dois fins de curso da parte frontal do equipamento representado pelo estado “fimdecursorLM” e estes dois

acionam os motores de travamento de cassete, representado pelo estado "motorLM". Estes motores de travamento (*Lock Motor*) giram de suas posições de repouso e travam o cassete pois possuem uma haste fixada ao eixo do motor e simultaneamente o *led* de status assume a cor verde, acima ilustrado pelo estado "Ledstatus".

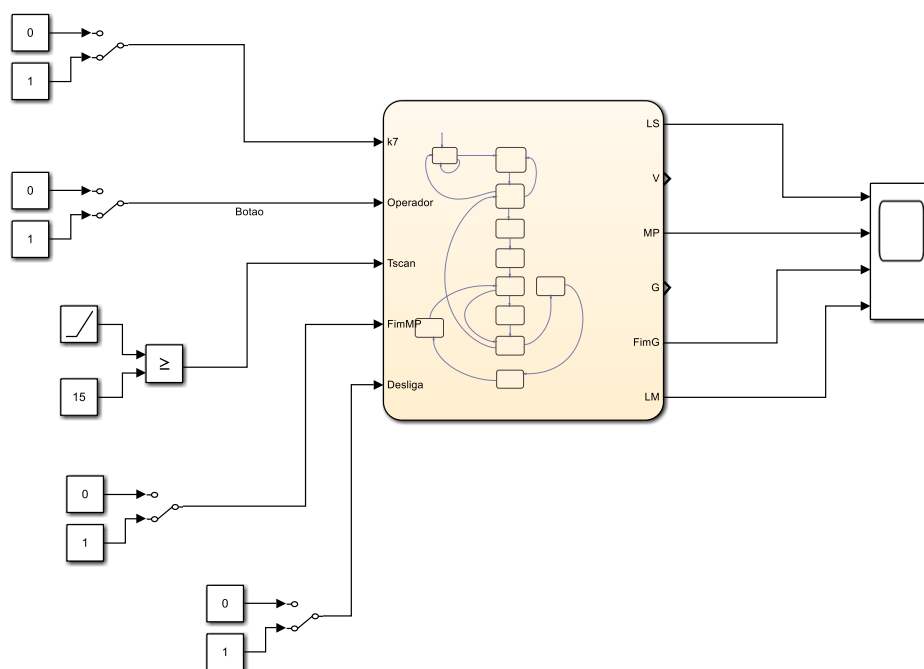
Após todas as etapas anteriores do processo serem considerada como "verdade", o botão de leitura de imagem fica habilitado na tela do software Quantor, neste caso, representado pelo estado "inicioleitura". O início da leitura depende de um operador externo pressionar o botão na interface gráfica do software e assim que iniciado, o motor de passo é acionado, podendo ser representado nos estados "motorpassoH" e "motorpassoAH", de acordo com o deslocamento realizado, e a garra, representada pelo estado "garraId" se desloca alguns centímetros para encaixar embaixo do IP, neste momento ela atinge um fim de curso superior traseiro do *FireSpark 70*, ilustrado pelo estado "FimSup".

Na sequência, o motor inverte então seu sentido de rotação e desloca o IP pelo interior da máquina, com velocidade correspondente à definição de imagem selecionada pelo operador (HD ou SD), decorrido esse tempo, a garra atinge o fim de curso inferior, representado pelo estado "FimScan", a partir de então o motor necessita inverter seu sentido de giro novamente para que o *Plate Image* seja apagado, ao ser exposto pela placa apagadora, ilustrada pelo estado "apagadora" e devolvido para dentro do cassete.

Quando o termina esse percurso pela segunda vez, a garra atinge o fim de curso superior e decorridos alguns segundos ela é desligada, os motores de travamento então são desligados liberando o cassete e neste momento o Led de status assume a condição azul, indicando ao operador que o aparelho está pronto para realizar uma nova leitura.

No caso representado na imagem nº 64, pode-se ter uma visão macro do sistema completo simulado, podendo-se observar que existem condições externas de entrada e alguns estados lógicos de saídas analisados neste modelo. No caso da primeira chave descrita acima, tem-se ilustrada a condição da existencia de cassete do cassete como "verdadeira" ou "falsa" e sendo está a condição mais importante para o início da leitura. Na segunda chave, pode-se notar a representação da condição onde o operador opta "verdade" ou não "falso", por realizar uma leitura do IP.

Figura nº 64: Simulação leitura de IP básica *FireSpark 70*, representação entradas e saídas.



Fonte: A autora

Como uma medida paliativa, o tempo nesta modelagem foi representado como uma rampa de valor maior ou igual a 16 passos de simulação. Já as duas últimas condições de entrada foram consideradas para garantir que os “percursos” da simulações fossem “respeitadas” o mais próximo da situação real de operação do CR. Além disso, como saídas, observou-se as variáveis LS do processo de leitura de imagem e LM representando o processo dos motores de travamento de cassete, já que uma vez que ele é inserido no CR, eles são ativados e só desligam quando todo o processo de aquisição de imagem é finalizado.

O *Stateflow* além de simular a transição entre os estados e as condições para isso, fornece uma linguagem gráfica que auxilia na compreensão e posteriormente servirá como base para o desenvolvimento do algoritmo de controle que irá comandar toda a operação do equipamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização deste trabalho pode-se compreender melhor como de fato funciona um leitor de radiografia computadorizada CR, quais as diferenças básicas existentes entre ele e o equipamento de radiografia direta DR e principalmente como o avanço da tecnologia proporcionou a substituição da impressão de exames radiológicos em filmes por imagens digitais.

Pode-se citar que o *FireSpark 70*, apresenta um *designer* compacto, velocidade na leitura das imagens e bons resultados na qualidade final das mesmas, além de ser um dos modelos mais leves existentes no mercado dos equipamentos eletromédicos da atualidade.

O desenvolvimento deste trabalho proporcionou o contato com equipamentos ou partes que não são abordadas na graduação, o que representa ganho de conhecimento uma vez que estes aparelhos possuem tecnologia ainda não dominada no Brasil. Outro aspecto a ser observado é o de que, como não são equipamentos brasileiros, houve a necessidade de entrar em contato com o fabricante em alguns momentos para maiores esclarecimentos sobre o melhor modo de operar o aparelho e/ou na tentativa de compreender eventuais problemas que o CR apresentou, e neste caso a maior barreira encontrada foi a da língua.

Considera-se que grande parte dos objetivos pré estabelecidos para este trabalho foram atingidos, para um estudo inicial sobre o aparelho. Projetar um equipamento desta natureza requer a especificação dos elementos e aquisição das partes junto aos fabricantes. Em seguida, faz-se a integração destas partes e o desenvolvimento consiste em elaborar o algoritmo de controle que controla a operação conjunta destes módulos. Desta forma os fluxogramas desenvolvidos neste trabalho são fundamentais para a compreensão, identificação da sequência lógica operacional e programação do algoritmo de controle. Portanto, este material servirá de base para as etapas seguintes no desenvolvimento de um produto com tecnologia nacional.

Como continuidade imediata deste trabalho pode-se mencionar a montagem/simulações e testes dos circuitos com as funções específicas, além da avaliação de soluções diferentes, como por exemplo, do tipo de motor utilizado para mover o plate dentro do equipamento. Posteriormente, também podem ser implementadas melhorias no funcionamento do circuito e/ou *software*, como por

exemplo, alguns erros que o *FireSpark 70* apresenta em seu funcionamento, mas que ao ser reinstalado o *software* Quantor na versão em inglês, alguns destes problemas desaparecem. Pode-se também iniciar os estudos para o desenvolvimento de um *software* de aquisição de imagens brasileiro para o equipamento a ser desenvolvido.

REFERÊNCIAS

EIGIER DIAGNOSTICOS. **Raio-X: Como funciona e para que serve o exame.** Disponível em: < <https://eigierdiagnosticos.com.br/blog/raio-x-como-funciona/>>. Acessado em 20 de julho de 2021.

FENELON, Sandro. **A evolução da radiologia:** os avanços da imagiologia e radiologia diagnóstica. 2008. Disponível em: <<http://www.imaginologia.com.br/dow/A-evolucao-da-Radiologia.pdf>>. Acessado em 03 de março de 2021.

FURQUIM, Tânia Aparecida Correia. **Detectores para obtenção de imagens digitais.** Disponível em: < <http://docplayer.com.br/68721877-Detectores-para-obtencao-de-imagens-digitais.html>>. Acessado em 10 de janeiro de 2021.

I3C, Soluções Inteligentes. **Como funciona o RFID.** 2020. Disponível em: <<https://i3csolucoes.com.br/como-funciona-o-rfid/>>. Acessado em 20 de maio de 2021.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica.** 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LIMA, Isaias Correia; JÚNIOR, Mário Araújo; CARVALHO, Sérgio Silva de. **Fibra Óptica:** vantagens da sua utilização como meio de transmissão em sistemas de segurança eletrônica. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/revistasemanaacademicafibraoptica.pdf>>. Acessado em 11 de fevereiro de 2021.

LIMA, Rodrigo da Silva. Et.al. **Raios-x: fascinação, medo e ciência.** Rio de Janeiro – RJ. Departamento de Química Analítica, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/xtjYm7RZvYjTyGf5zJJgCQ/?lang=pt>>. Acessado em 02 de abril de 2021.

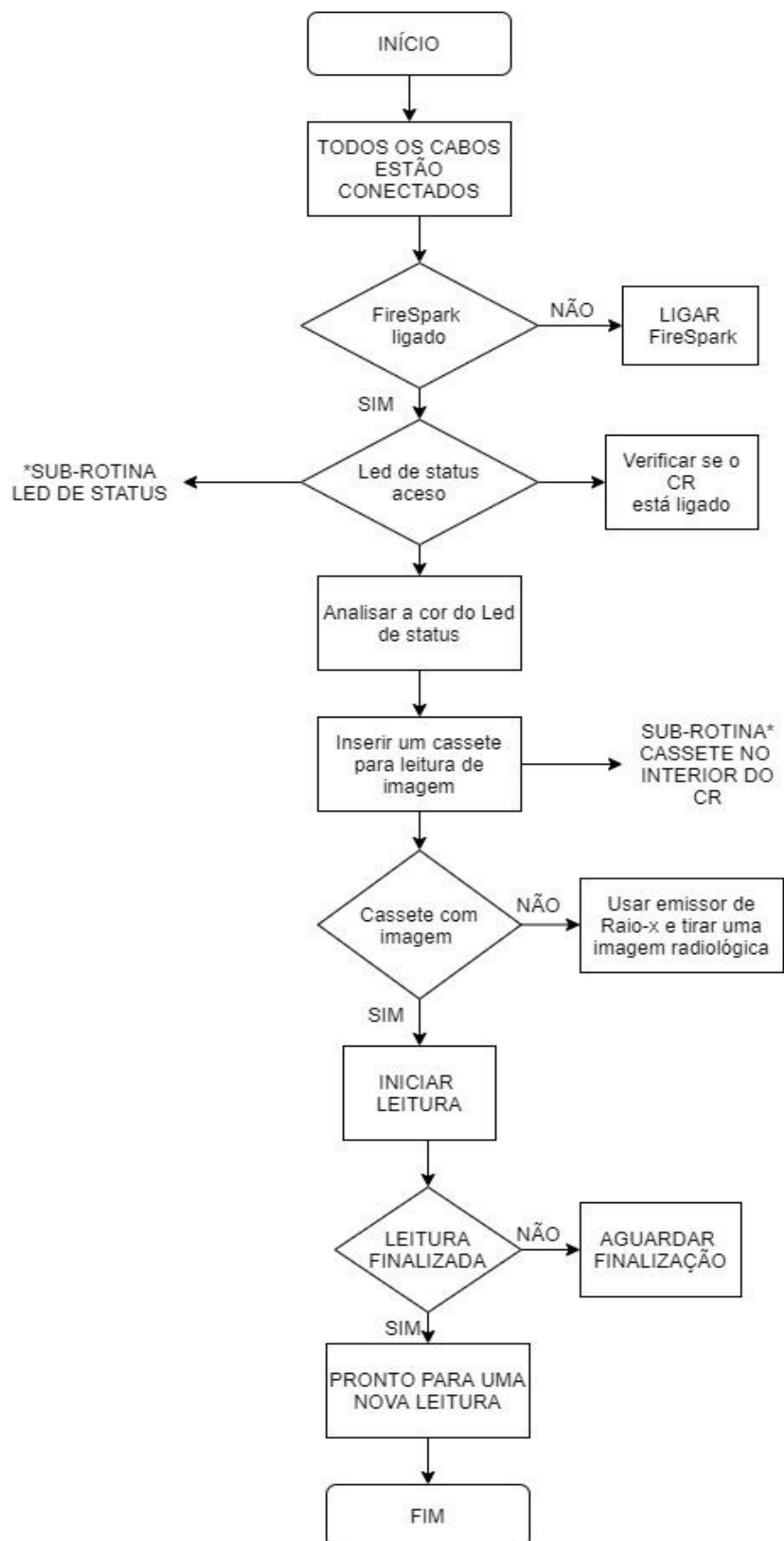
OLIVEIRA, Davi Ferreira de; LOPES, Ricardo T. **Avaliação da qualidade de imagem em sistemas radiografia computadorizada e image plates.** Artigo. IV Conferência Panamericana de END - Buenos Aires. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Rio de Janeiro – RJ. Disponível em: <<https://www.ndt.net/article/panndt2007/papers/40.pdf>>. Acessado em 07 de março de 2021.

SPR, Sociedade Paulista de Radiologia e Diagnóstico por Imagem. **Início da Radiologia.** Disponível em: <<https://www.spr.org.br/a-spr/historia-da-radiologia>>. Acessado em 20 de janeiro de 2021.

UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Medicina Nuclea:** aula 06. Disponível em

<https://hpc.ct.utfpr.edu.br/~charlie/docs/PPGEB/IMEDNUC/MedNuc_Aula_06.pdf>. Acessado em 01 de junho de 2021.

APÊNDICE A



APÊNDICE B

