



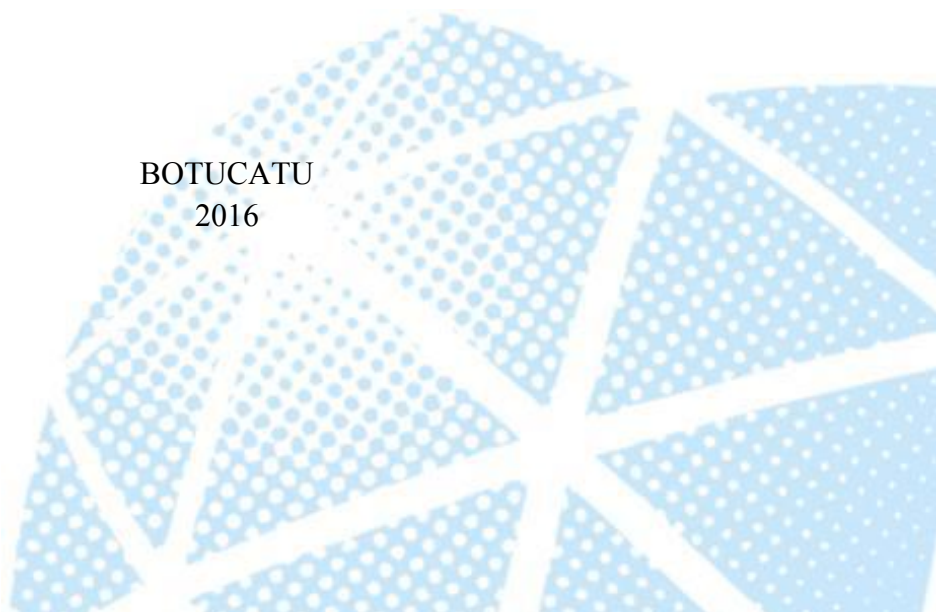
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CURSO DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA MÉDICA

NELSON JÚNIOR GONÇALVES

**ANÁLISE DO SISTEMA DE CONTROLE DE SEGURANÇA
OPERACIONAL DO ACELERADOR LINEAR ELEKTA
MODELO PRECISE**

BOTUCATU
2016



NELSON JÚNIOR GONÇALVES

**ANÁLISE DO SISTEMA DE CONTROLE DE SEGURANÇA
OPERACIONAL DO ACELERADOR LINEAR ELEKTA
MODELO PRECISE**

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes

Monografia apresentada ao Instituto de
Biociências, Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” –
UNESP, Campus de Botucatu, para
obtenção do título de Bacharel em
Física Médica.

BOTUCATU

2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE-CRB 8/5651

Gonçalves, Nelson Junior.

Análise do sistema de controle de segurança operacional
do acelerador linear Elekta modelo Precise / Nelson Junior
Gonçalves. - Botucatu, 2016

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Física
Médica) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu
Orientador: Marco Antônio Rodrigues Fernandes
Capes: 20904002

1. Radioterapia - Manuais, guias, etc. 2. Radioterapia
- Medidas de segurança. 3. Sistemas de segurança. 4.
Análise de sistemas (Administração).

Palavras-chave: Acelerador linear ; Segurança; Sistema de
Interlocks; Sistema de controle Integrity.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, minha mãe, irmãos e namorada, pelo apoio em todos os anos do curso de graduação.

Aos amigos de sala com quem convivi e compartilhei de experiências por esses quatro anos.

Ao Prof. Dr. Marco Antônio Rodrigues Fernandes pela oportunidade para a execução do estágio que foi de grande importância para compreensão e escolha profissional.

A equipe de profissionais da Clínica de Radioterapia Arakawa do Hospital Unimed de Bauru, por abrir as portas e ceder o espaço e equipamentos do serviço de radioterapia, sempre incentivando o aprendizado.

A todos os professores e funcionários da Universidade que de alguma forma colaboraram para minha formação acadêmica.

Resumo

Este trabalho foi realizado com o intuito de analisar as interações dos sistemas de segurança e de *interlocks* e os possíveis impedimentos que poderiam ocorrer caso houvesse uma falha de comunicação entre esses dois sistemas do acelerador linear modelo “Precise” da marca Elekta instalado na Clínica de Radioterapia do Hospital Unimed de Bauru. Para auxiliar na solução dos impedimentos, um manual foi desenvolvido indicando os possíveis erros e as suas respectivas soluções. O manual foi desenvolvido com a intenção de reduzir ao máximo o tempo que a máquina fica parada devido a uma falha detectada, sendo que, com a detecção e a rápida solução da falha tem-se o aumento da atividade clínica, realizando maior número de tratamentos.

Palavras-chave: Sistema de Controle Integrity, Sistema de Interlocks, Acelerador Linear, segurança.

Abstract

This work was carried out in order to analyze the interactions of security and interlocks systems and the possible obstacles that could occur if there was a communication failure between the two linear accelerator model systems “Precise” of Elekta brand installed in Radiotherapy Clinic Hospital Unimed Bauru. To assist in solving impediments, a manual was developed indicating the possible errors and their solutions. The manual was developed with the intention of minimizing the time the machine is stopped due to a fault detected, so, with the detection and rapid failure solution there is an increase in clinical activity, performing more treatment.

Key-words: Integrity Control System, Interlocks System, Linear Accelerator, Safety.

Lista de Figuras

Figura 1 – Curvas de porcentagem de dose profunda para feixe de fótons.....	17
Figura 2 – Corte de um cabeçote de uma bomba de Co-60- Modelo Theratron 780.....	18
Figura 3 – Esquema do tubo de um acelerador linear.....	20
Figura 4 – Colimador multi-lâminas conformacionado na forma do volume-alvo.....	20
Figura 5 – Acelerador Linear Elekta Precise Treatment System.....	22
Figura 6 – Representação esquemática dos refletores presentes nas extremidades das lâminas.....	25
Figura 7 – Acelerador Linear Varian TrueBeam.....	28
Figura 8- Acelerador Linear Varian Trilogy.....	29
Figura 9 - Acelerador Linear Varian Clinac iX.....	30
Figura 10 – Acelerador Linear Varian Unique.....	31
Figura 11 – Acelerador Linear Elekta Versa HD.....	32
Figura 12 – Acelerador Linear Elekta Infinity.....	33
Figura 13 – Acelerador Linear Elekta Synergy.....	34
Figura 14 – Acelerador Linear Elekta Compact.....	35
Figura 15 – Acelerador Linear Precise instalado na clínica de radioterapia da Unimed de Bauru.....	37
Figura 16 – Contatores, interlocks e sistema de alimentação.....	38
Figura 17 – Janela de inicialização do modo de serviço.....	44
Figura 18 – Janela de inicialização do modo clínico.....	45
Figura 19 – Módulo do controle response.....	46
Figura 20 – Janela iniciar do console.....	47
Figura 21 – Caixa de diálogo login do Integrity.....	47
Figura 22 – Indicadores de status do acelerador linear.....	48
Figura 23 – Indicadores de status da máquina nas condições de discrepância de aplicação.....	49
Figura 24 – Acoplar e remover o porta bandeja.....	50
Figura 25 – Indicador de campo de dados para dados inválidos.....	50
Figura 26 – Indicador de campo de dados para dados fora de tolerância.....	51
Figura 27 – Guias de seleção de página.....	51
Figura 28 – Indicador de status de página.....	51

Figura 29 – Botão de comando Log Off.....	52
Figura 30 – Caixa de diálogo Log Off.....	52

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Condições de <i>interlocks</i> para o grupo principal.....	39
Tabela 2 – Condições de <i>interlocks</i> para o grupo de movimentos primários.....	39
Tabela 3 – Condições de <i>interlocks</i> para o grupo dos movimentos secundários.....	40
Tabela 4 – Condições de <i>interlocks</i> para o grupo HT1.....	40
Tabela 5 – Condições de <i>interlocks</i> para o grupo HT2.....	41
Tabela 6 – Condições de <i>interlocks</i> para o grupo HT de partida suave.....	41
Tabela 7 - Condições de <i>interlocks</i> para o grupo PRF A.....	42
Tabela 8 - Condições de <i>interlocks</i> para o grupo PRF B.....	42

Lista de Abreviaturas e Siglas

A	Ampère.
AL	Acelerador Linear.
ASU	<i>Automatic Setup</i> - Configuração Automática.
BATD	Braquiterapia de Alta Taxa de Dose.
BBTD	Braquiterapia de Baixa Taxa de Dose.
BLD	<i>Beam Limiting Device</i> - Dispositivo Limitador de Feixe.
CBCT	<i>Cone Beam Computed Tomography</i> - Tomografia Computadorizada Cone Beam.
CVDR	<i>Continuously Variable Dose Rate</i> - Taxa de Dose Continuamente Variável.
CT	<i>Computed Tomography</i> - Tomografia computadorizada.
DFS	Distância Fonte- Superfície.
DNA	Ácido Desoxirribonucleico.
FKP	<i>Function keypad</i> - Teclado de funções.
HHC	<i>Handheld Controller</i> – Controlador Portátil.
HT	<i>High Tension</i> – Alta Tensão.
IBB	Instituto de Biociências de Botucatu.
IGRT	<i>Image Guided Radiation Therapy</i> - Radioterapia Guiada por Imagem.
IMRT	<i>Intensity Modulated Radiation Therapy</i> - Radioterapia de Intensidade Modulada.
kVp	Quilovoltagem Pico.
LCS	<i>Linac Control System</i> – Sistema de Controle do Linac.
Linac	<i>Linear Accelerator</i> - Acelerador Linear.
LT	<i>Low Tension</i> – Baixa Tensão.
MFO	Manual de Falhas de Operação.
MLC	<i>Mult Leaf Collimator</i> - Colimador Multi-Lâminas.
ms	Milissegundo.

MV	Megavoltagem.
OBI	<i>On Board Image</i> – Imagem na Placa.
PPMS	<i>Patient Position Monitoring System</i> - Sistema de Monitoramento da Posição do Paciente.
PRF	<i>Pulse Repetition Frequency</i> - Frequência de Repetição de Pulso.
PSU	<i>Power Supply unit</i> – Fonte de alimentação.
PV	Portal Vision.
QA	Verificações de Garantia de Qualidade.
RF	<i>Radio Frequency</i> - Radiofrequência.
R&V	<i>Record and Verify</i> - Registrar e Verificar.
SBRT	<i>Stereotactic Body Radiotherapy</i> - Radiocirurgia Estereotática Corpórea.
SRS	<i>Stereotactic Radiosurgery</i> - Radiocirurgia Estereotática.
SRT	<i>Stereotactic Radiotherapy</i> - Radioterapia Estereotática Fracionada.
TBI	<i>Total Body Irradiation</i> - Irradiação de Corpo Inteiro.
TCS	<i>Treatment Control System</i> - Sistema de Controle de Tratamento.
UM	Unidade Monitora.
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”.
VMAT	<i>Volumetric Intensity Modulated Arc Therapy</i> - Arcoterapia Volumétrica Modulada.

Sumário

1. Introdução.....	14
1.1. Radioterapia.....	14
1.2. Braquiterapia.....	16
1.3. Teleterapia.....	17
1.3.1. Equipamentos de Quilovoltagem.....	17
1.3.2. Unidades de Telecobaltoterapia.....	18
1.3.3. Aceleradores Lineares.....	19
1.4. Sistema de Controle Integrity.....	22
1.4.1. Versões do Integrity.....	24
2. Objetivos.....	26
3. Revisão Bibliográfica.....	26
3.1. Varian,.....	27
3.1.1. TrueBeam.....	27
3.1.2. Trilogy System.....	28
3.1.3. Clinac iX.....	29
3.1.4. Varian Unique.....	30
3.2 Elekta.....	31
3.2.1. Versa HD.....	31
3.2.2. Elekta Infinity.....	32
3.2.3. Elekta Synergy.....	33
3.2.4. Elekta Precise treatment System.....	34
3.2.5. Elekta Compact.....	34

4. Metodologia.....	35
5. Resultados e Discussão.....	43
6. Conclusão.....	55
7. Referências.....	56
Apêndice A.....	60

1. Introdução

1.1. Radioterapia

A radioterapia surgiu logo após a descoberta dos raios-X, por Wilhelm Conrad Roentgen em 1895. Em seguida, a descoberta da radioatividade por Becquerel em 1896 e do Rádio pelo casal Curie em 1898, foram acontecimentos que contribuíram para o surgimento da radioterapia. Em 1896, Emil Grubbé na cidade Chicago, Victor Despeignes na França e Léopold Freund na Áustria foram apontados como as primeiras pessoas a tentarem realizar tratamento de tumores utilizando raios-X. No ano de 1900, deu-se início a utilização de fontes radioativas para tratamentos terapêuticos, as primeiras aplicações foram feitas em braquiterapia superficial utilizando fontes de Rádio pelo Dr. Danlos em Paris[1, 2].

A radioterapia começou a ser aplicada conforme eram desenvolvidos aparelhos com diferentes tensões que possibilitavam produzir raios-X mais penetrantes, esses por sua vez apresentavam energias mais elevadas. No período da 2ª Guerra Mundial, surgiram os isótopos produzidos artificialmente, como o cobalto-60, que é instável e emite radiação para alcançar a estabilidade, com o surgimento dos isótopos foi desenvolvido as primeiras unidades de telecobaltoterapia. Como os tumores aparecem em diferentes profundidades, houve a busca pelo o desenvolvimento de equipamentos que possibilitassem a realização de tratamento de tumores mais profundos, então no ano de 1924, houve a proposta dos aceleradores lineares (A.L ou linac), que realizariam a aceleração de partículas através de um guia de onda [1-3].

Radioterapia é uma modalidade médica que utiliza radiação ionizante como agente terapêutico, com o objetivo de eliminar e inibir o crescimento das células malignas, na aplicação da radiação a deposição de dose é feita de maneira que a maior dose seja depositada no volume-alvo, ou seja, nas células malignas, a fim de preservar os tecidos sadios adjacentes causando menos danos possíveis [3, 4].

Na interação com a matéria, tecido humano, a radiação apresenta energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, essa ionização pode ocorrer de duas formas, direta e indireta. A forma direta a radiação interagem com o tecido biológico provocando danos no DNA, que podem ser reparados ou não. Já na forma indireta ocorre a produção de radicais livres que irão interagir com o DNA danificando-o [4-6, 8].

O tratamento com radiação ionizante pode ser realizada de forma única ou associada a métodos terapêuticos, de maneira curativa, neoadjuvante, adjuvante, profilática e paliativa [2, 3]. A curativa é realizada quando se procura reduzir o número de células tumorais e assim obter o controle local permanente, podendo ser associada à quimioterapia ou utilizada em casos em que a cirurgia não é possível ou muito arriscada para o paciente; neoadjuvante é feita para diminuir o volume do tumor com o objetivo de facilitar a cirurgia; adjuvante é feita quando a radioterapia é associada à quimioterapia ou a cirurgia; profilática é realizada quando não existe volume tumoral, mas podem existir algumas células neoplásicas dispersas; paliativa, quando o tratamento busca a redução e o alívio de dores para proporcionar bem estar ao paciente [4-7].

Na prática clínica, normalmente são utilizadas as radiações eletromagnéticas (raios-X e raios gama) que apresentam diferentes procedimentos de aplicação, sendo o tratamento realizado em um período curto de alguns dias ou longo durante várias semanas. A maioria dos tratamentos dura várias semanas, pois são fundamentados nos 5 R's da radiobiologia: reoxigenação, redistribuição, recrutamento, repopulação e regeneração, além disso, é levado em consideração a capacidade de recuperação das células saudáveis, que é maior do que as células tumorais, assim as células tumorais são destruídas bem antes.

Existem duas formas de realizar a radioterapia, esta divisão é feita levando em consideração a localização da fonte em relação ao volume de tratamento, ou seja, se a fonte estiver posicionada a uma distância considerável do paciente, é denominada teleterapia ou radioterapia externa, mas se a fonte estiver aplicada no tumor ou próximo deste, é denominada braquiterapia [7].

O processo radioterápico inicia-se com a chegada do paciente e estende-se até o acompanhamento pós-irradiação. Todo o processo é realizado por uma equipe multiprofissional composta por médicos, físicos, dosimetristas, técnicos e enfermeiros devidamente treinados e preparados. Após o diagnóstico e a decisão pela radioterapia é realizado o planejamento para determinar a melhor forma de tratamento da neoplasia.

O planejamento passa por várias etapas, começando pela aquisição dos dados anatômicos do paciente com o auxílio de equipamentos de raios-X convencionais, tomografia computadorizada (CT), ressonância magnética dentre outros. Nesta etapa é definida a posição que o paciente permanecerá ao longo de todo o tratamento, de modo que esta seja a mais saudável e reprodutível. Com o auxílio das imagens adquiridas, o médico radioterapeuta prescreverá a dose levando em consideração o volume-alvo de tratamento e os órgãos de risco ao seu redor.

O cálculo da dose é realizado pelo físico da radioterapia, procedimento que é realizado manualmente e através de um sistema de planejamento informatizado bidimensional ou tridimensional (2D ou 3D) quando o serviço detém esta tecnologia, possibilitando distribuir em campos de tratamento a dose prescrita, minimizando-a nos tecidos sadios e órgãos de risco. Devido à dificuldade de encontrar somente células neoplásicas nas áreas limítrofes dos tumores é atribuída uma margem de segurança ao redor do tumor [9].

Ao final do planejamento, e antes da primeira aplicação é feita a conferência dos campos de radiação planejados e do posicionamento do paciente, através de imagens obtidas no próprio aparelho de teleterapia, em condições reais. Após a conclusão de todas as etapas de planejamento e simulação, começa o tratamento do paciente.

1.2. Braquiterapia

A Braquiterapia (*brachys*, do grego “próximo”) é uma das modalidades da radioterapia, que utiliza a fonte de radiação em contato direto com os tecidos a serem irradiados, na forma de sementes, fios ou placas, que também precisam de planejamento radioterápico. Esta forma de tratamento proporciona a liberação de altas doses de radiação no volume de tratamento e minimiza a dose nos tecidos sadios vizinhos. Esta forma de tratamento é indicada para tratar diversos casos clínicos, e pode ser usada como complementar da dose tumoral preconizada, tais como: cânceres ginecológicos, tumores de próstata, retinoblastoma, etc.

Existem duas formas de braquiterapia, a permanente e a temporária. A braquiterapia permanente ocorre quando as fontes radioativas são implantadas no paciente e não são retiradas do organismo, as fontes apresentam baixa taxa de dose (BBTD – braquiterapia de baixa taxa de dose), tais como as sementes de iodo-125 utilizadas em braquiterapia de próstata. Na temporária as sementes são fixadas e após um período de tempo pré-definido no planejamento elas são retiradas, neste caso as fontes apresentam alta taxa de dose (BATD – braquiterapia de alta taxa de dose), como realizado em tumores da próstata com micro-fontes de irídio-192.

1.3. Teleterapia

Teleterapia (*tele*, do grego “à distância”) ou radioterapia externa, recebe essa denominação, pois a fonte de radiação está posicionada a certa distância do volume-alvo, em geral 80 a 100 cm. Algumas técnicas de radioterapia recebem denominações específicas mesmo sendo da forma de teleterapia, por exemplo, Irradiação de Corpo Inteiro (TBI) e a Radiocirurgia. O agente terapêutico na teleterapia pode ser aplicado aos pacientes utilizando diferentes equipamentos, como os equipamentos convencionais de raios-X, unidades de telecobaltoterapia e os aceleradores lineares [4-7]. Esses equipamentos por apresentarem feixes com diferentes energias depositam a dose máxima em diferentes profundidades no tecido irradiado, como pode ser observado na Figura 1, que mostra o gráfico de Porcentagem de Dose Profunda (%) x Profundidade (cm).

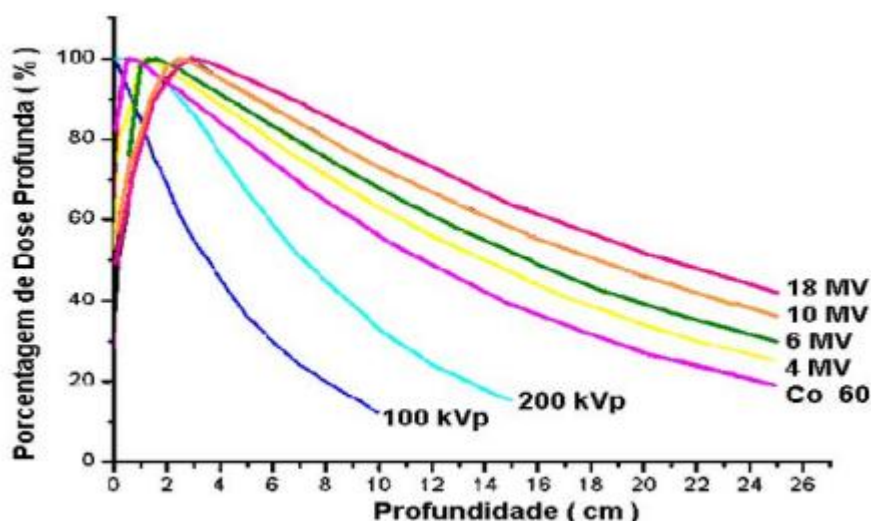


Figura 1 - Curvas de porcentagem de dose profunda para feixe de fótons.

Fonte: TADA, A. Análise dosimétrica de fontes de radiação para uso em lesões dermatológicas [9].

1.3.1. Equipamentos de Quilovoltagem

Os equipamentos de quilovoltagem foram os primeiros equipamentos produzidos em escala industrial no início da década de 40 para o tratamento com radioterapia. Esses equipamentos foram de extrema importância para a radioterapia, pois os padrões de medidas de dose terapêuticas, fracionamento de doses, tolerância e dosimetria foram obtidos a partir da experiência acumulada com o uso desses aparelhos. A técnica de equipamento de quilovoltagem é classificada em três categorias, a divisão é feita levando

em consideração a energia dos feixes de tratamento, as técnicas são terapia de contato, superficial e profunda (ortovoltagem), que apresentam respectivamente as energias, 30 a 50 kVp, 50 a 100 kVp e 150 a 300 kVp [4-6]. Estes equipamentos encontram-se em desuso na maioria dos serviços de radioterapia, pois com os avanços dos aceleradores lineares que possuem a oferta de feixes de elétrons que substituem os feixes de raios-X de baixa energia para tratamento de lesões superficiais e de baixa penetração.

1.3.2. Unidades de Telecobaltoterapia

As unidades de telecobaltoterapia surgiram na década de 50 quando por meio de reatores nucleares o radioisótopo cobalto-60 pode ser produzido, este radioisótopo emite radiação gama com intensidade média de 1,25 MV. A unidade de cobaltoterapia é constituída de um cabeçote, *gantry* e mesa de tratamento. No cabeçote fica localizada a fonte do radioisótopo cobalto-60 que é selada por uma blindagem de chumbo ou urânio exaurido por esta constantemente emitindo radiação gama. No momento do tratamento para que a radiação atinja o paciente a fonte é deslocada por um pistão pneumático desde o seu compartimento até a posição em que há uma abertura, nomeada de janela, o campo de irradiação é delimitado por colimadores de chumbo ou tungstênio apropriados para estabelecer o tamanho de campo [10]. Alguns acessórios são utilizados para aplicação do tratamento como: bandeja para blocos de chumbo ou *cerrobend* que delimitam e conforma o campo de irradiação, filtros, hemibloqueador e back pointer. O cabeçote de uma unidade de cobaltoterapia pode ser observado na Figura 2.

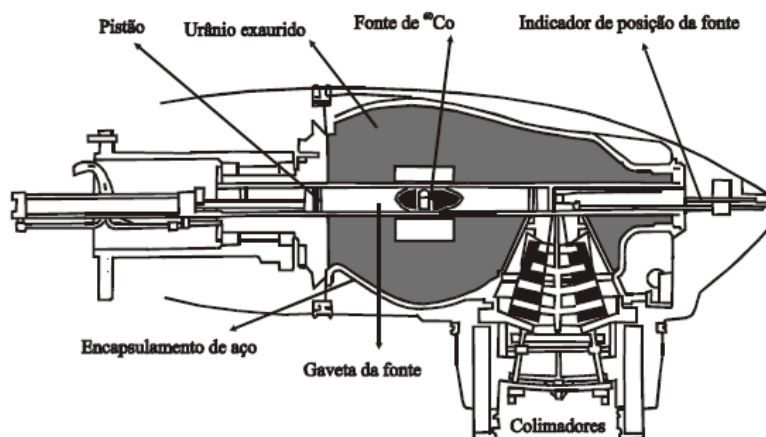


Figura 2 - Corte de um cabeçote de uma bomba de Co-60- Modelo Theratron 780.

Fonte: Tauhata L., Salati, I.P.A., Prinzie, R. Di., Prinzie, M.A.R.R.Di. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos [10].

1.3.3. Aceleradores Lineares

Desenvolvidos na década de 40 e comercializados para aplicações médicas a partir da década de 60, os aceleradores foram desenvolvidos com a finalidade de obter feixe com energias maiores para tratar tumores em diferentes profundidades com maior eficiência. Os A.L's oferecem uma ampla faixa de energia de fótons de raios-X de 4,0 MV a 25,0 MV, e também podem ser equipados com feixes de elétrons [2,7]. Com a finalidade de produção de raios-X de megavoltagem, os A.L's utilizam do mecanismo de aceleração e colimação.

O processo de produção dos feixes de fótons e de elétrons é semelhante em toda parte inicial, mas se distinguem no momento da interação dos elétrons acelerador com os alvos.

Os pulsos de alta tensão são fornecidos as fontes de elétrons e de micro-ondas através das fontes de energia. A fonte de elétrons é constituída de um cátodo que é aquecido a uma alta temperatura e um ânodo colocado em um sistema de vácuo, este fonte produz elétrons por emissão termiônica e injeta pulso de elétrons no guia de onda em que são acelerados por meio da diferença de potencial entre os vários eletrodos ao longo do tubo que provoca a inversão momentânea do campo elétrico.

As ondas de radiofrequência são enviadas ao tubo acelerador em formas de vários pulsos proveniente do *magnetron*, as ondas de radiofrequência sincronizam-se com os elétrons injetados no tubo acelerador através do canhão de elétrons, ao sincronizar-se os elétrons são acelerados pelas ondas de radiofrequência ganhando energia até atingirem uma velocidade próxima a da luz [10].

A produção de fótons ocorre quando os elétrons acelerados ao deixarem o tubo acelerador são dirigidos para um alvo metálico de alto número atômico localizado no cabeçote do acelerador, os fótons são produzidos por meio do efeito de *bremsstrahlung*, cuja energia do feixe é determinada pelo *magnetron* que tem como função controlar a intensidade e a frequência das ondas de radiofrequência. Já na produção de feixe de elétrons, os elétrons acelerados no tubo não vão interagir com o alvo metálico, mas com uma fina lâmina metálica de chumbo ou cobre, no momento da colisão os elétrons acelerados são espalhados formando o feixe de elétrons [5,10]. A Figura 3 apresenta o esquema do tubo de um acelerador linear.

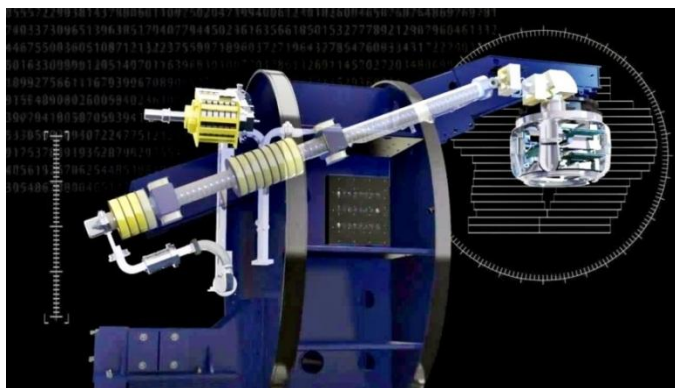


Figura 3 – Esquema do tubo de um acelerador linear.

Fonte: Moraes BH, Marangoni AC. Características e funcionamento dos aceleradores lineares em radioterapia e aspectos da evolução do planejamento radioterápico [2].

O colimador primário é responsável pela uniformidade tanto do feixe de elétrons quanto de fótons possibilitando assim uma distribuição de dose homogênea. O feixe de elétrons atravessa um segundo colimador que possui a função de restringir o campo projetado [2]. Com a evolução tecnológica a radioterapia apresentou grande evolução nos seus equipamentos, possibilitando novas formas de realização e de aplicação, um exemplo, foi à substituição dos colimadores de blocos moldados no tamanho e forma do tumor pelo colimador multi-lâminas.

O colimador multi-lâminas (multi-folhas ou MLC, da sigla inglesa, *Multi Leaf Collimator*) localizado na saída do cabeçote possui várias lâminas finas produzidas com materiais de alta absorção, elas são guiadas por um sistema remoto computadorizado, possibilitando realizar conformações de campos irregulares que se aproximam ao máximo das conformações dos volumes alvos a serem tratados [2,5]. A Figura 4 exibe a conformação de um campo realizado pelo MLC.



Figura 4 - Colimador multi-lâminas conformacionado na forma do volume-alvo.

Fonte: De Lima BC, Lima Junior LC. Modalidades da radioterapia: Teleterapia, braquiterapia e radiocirurgia.[5].

Atualmente existem duas grandes fabricantes de aceleradores lineares a Varian Medical Systems e a Elekta Medical Systems.

A Varian *Medical Systems* é uma fabricante de dispositivos médicos e software para o tratamento de câncer, desenvolvem equipamentos para radioterapia, radiocirurgia e braquiterapia. A empresa fornece softwares para gestão clínicas, aparelhos e detectores de raios-X. Atualmente a Varian esta fabricando quatro diferentes aceleradores lineares para realização de teleterapia, sendo eles TrueBeam, Trilogy *System*, Clinac iX e o Varian Unique. Os equipamentos podem ser equipados com sistemas de planejamento e gerenciamento, *Eclipse* e *ARIA*, respectivamente, além de possuírem uma ampla gama de técnicas de tratamento que podem ser utilizadas em diferentes tipos de tratamento [11].

A Elekta *Medical Systems* é uma empresa de cuidados humanos pioneira em inovações e soluções clínicas para o tratamento de câncer e distúrbios cerebrais. A empresa desenvolve sofisticados ferramentas e sistemas de planejamento para radioterapia, radiocirurgia e braquiterapia. Os equipamentos de radioterapia dispõem de avançadas técnicas de planejamento *Monaco* ou *XiO* e o sistema de gerenciamento *Mosaiq*. Além do MLC e soluções sofisticadas para terapias estereotáxicas que combinam planejamento avançados, com orientação por imagem. A Elekta atualmente está fornecendo cinco aceleradores lineares nos modelos: Versa HD, Elekta Infinity, Elekta Synergy, *Precise Treatment System*, Elekta Compact [12].

O acelerador linear do estudo foi do modelo Elekta *Precise Treatment System*, este modelo foi o primeiro acelerador linear totalmente digital, desenvolvido para unir velocidade, precisão e suporte para técnicas avançadas como Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT) e Arcoterapia Volumétrica Modulada (VMAT) [13].

Esta máquina é integrada com o MLC, constituído de 80 lâminas com espessuras de 10,0 mm proporcionando a entrega de doses elevadas ao alvo, minimizando a dose nos tecidos sadios próximos ao volume-alvo. Possui campo de tratamento com abertura máxima de 40,0 cm x 40,0 cm, que possibilita realizar tratamentos em grandes áreas.

Para o planejamento radioterápico, o *Precise* pode ser equipado com o sistema *XiO* ou *Monaco*, já o gerenciamento é feito pelo sistema *Mosaiq*. Este A.L. dispõe do sistema *Elekta IntelliMax*, que possibilita os engenheiros responsáveis realizarem o acesso remoto para monitorar ou solucionar possíveis problemas que venham ocorrer, tornando mais eficiente a disponibilidade clínica [13].

O *Precise* apresenta um sistema atualizável para suporta possível atualizações futuras que sejam necessárias. O A.L. *Precise* pode ser equipado opcionalmente com o

sistema de imagem *iViewGT*, que permite a aquisição de imagens 2D, utilizando o feixe de tratamento em tempo real, as imagens obtidas podem ser utilizadas para o auxiliar os técnicos no momento do posicionamento do paciente [13]. O A.L. é apresentado esquematicamente pela Figura 5.



Figura 5 - Acelerador Linear Elekta Precise Treatment System.

Fonte: Elekta. Precise Treatment System: Clinically Flexible Digital Linear Accelerator [13].

1.4. Sistema de Controle Integrity

O sistema de controle Integrity foi desenvolvido há 25 anos pelos engenheiros da Elekta e já compõe a sexta geração de aceleradores lineares da marca, proporcionando confiabilidade, eficiência e flexibilidade na entrega do tratamento, pois sincroniza várias operações do acelerador linear através de um único sistema de controle centralizado, além de possibilitar atualização e apoio para todas as técnicas [14-16].

O sistema de controle foi desenvolvido para que o acelerador linear se comportasse de maneira inteligente, com o objetivo de auxiliar médicos autorizados na aplicação da radiação em volumes-alvo definidos, protegendo os órgãos de risco e os tecidos saudáveis ao redor do tumor contra o excesso de radiação, ou seja, realizando verificações automaticamente de todos os parâmetros de entrega com os parâmetros prescritos.

O Integrity antes de ser aprovado e implantado nos aceleradores da Elekta, foi submetido a rigorosos testes de aceitação realizados em oito centros internacionais, os testes realizados foram de suma importância para comprovar a eficiência do sistema de controle na redução do tempo de tratamento em até 30 por cento, possibilitando uma

maior eficiência na entrega da dose. A redução no tempo de tratamento esta diretamente ligada ao fato do Integrity possibilitar a entrega de taxas de dose continuamente variáveis (CVDR), aumentando o rendimento da terapia e o fluxo de trabalho da clínica [14-16].

Os aceleradores lineares que dispõem do Integrity apresentam benefícios como redução de riscos e maior desempenho no tratamento, isso ocorre pelo fato do Integrity combinar um sistema de segurança de três níveis, incluindo o *Guardian*, que proporciona uma maior confiança na entrega de taxas de doses continuamente variáveis, ou seja, no momento do tratamento a taxa de dose pode ser ajustada ao valor ideal variando de acordo com o tecido irradiado, resultando na entrega mais rápida e suave da dose. Para essa variação na taxa de dose, o linac deve contar com um MLC que garanta que os campos se conformem em geometrias complexas, possibilitando que planejamentos sejam entregues em diferentes campos garantindo maior variedade na aplicação da radiação. Isso é importante em tratamentos de múltiplos alvos, pois pode atender múltiplas lesões depositando diferentes taxas de dose em cada uma delas, na mesma seção do tratamento [14,16].

Por ser totalmente integrado, o Integrity transmite confiabilidade e segurança, pois acompanha ativamente o tratamento até que o tal seja completado. O Integrity controla todas as formas de tratamentos realizadas sejam em frações únicas ou múltiplas, com aplicações feitas em feixes estáticos ou dinâmicos, em toda área do corpo, além de atuar com guardião, proporciona suporte para uma ampla variedade de técnicas de conformação, como IMRT, VMAT e aplicações esterotáxicas, permitindo que os médicos possam prescrever técnicas adequadas para cada tipo de tumor [15].

O sistema de controle é de extrema importância para o tratamento clínico, pois interrompe o tratamento no momento em que algum erro de comando ou mecânico venha ocorrer. A interrupção ocorre pela constante verificação da entrega da dose e do tratamento pelos três níveis de segurança, que no momento do tratamento ficam fiscalizando.

O primeiro nível é responsável pela verificação dos dados recebidos a partir do sistema registrar e verificar (R&V), que analisa os dados enviados pelo sistema de informação *Mosaiq* em relação aos parâmetros inseridos pelo usuário. Caso os parâmetros prescritos e inseridos, estejam diferentes, o tratamento é rejeitado, e o usuário recebe uma mensagem no monitor para que confira os valores, enquanto os parâmetros não estiverem dentro dos limites de tolerância a aplicação não ocorre, preservando a integridade do paciente [14,16].

O segundo nível de proteção é responsável por controlar o MLC, o *gantry*, o colimador e a entrega da dose durante a irradiação. As posições das lâminas do colimador são verificadas e controladas a cada 40 ms e a dose é verificada a cada 2 ms, proporcionando maior segurança na entrega da dose [14-16].

O terceiro nível, *Guardian*, é responsável por supervisionar o funcionamento adequado dos dois níveis anteriores descritos, verificando em tempo real se o campo que esta sendo entregue corresponde aos parâmetros prescritos pelo médico. Se em algum momento houver uma discrepância, o tratamento é imediatamente interrompido, e por esses motivos que o sistema de controle é tão importante, pois garante segurança e eficiência nos tratamentos [14-16].

1.4.1. Versões do Integrity

O Integrity apresenta duas versões: 1.0 e 3.0, as quais podem ser atualizadas, devido aos acessórios ou formas de tratamentos incorporados a máquina, essa atualização ocorre para que as novas ferramentas possam operar com o suporte adequado. A versão do Integrity 1.0 pode ser atualizada para as versões 1.1 e 1.2, já a versão 3.0 pode ser atualizada para as versões 3.1 e 3.2 [17-20]. Todas as versões do Integrity são constituídas de duas interfaces, o modo de serviço (*Service Mode*) e o modo clínico (*Clinical Mode*), que apresentam diferentes utilidades.

O Integrity 1.0 foi desenvolvido para suportar o MLC, além das cabeças moduladoras de feixe. O MLC é o colimador multi-lâminas com lados de 40,0 cm x 40,0 cm e 80 lâminas de 10,0 mm de largura, e contam com diafragmas assimétricos que se movimentam no eixo X e Y, que são instalados abaixo do conjunto de multi-lâminas para diminuir o vazamento de radiação por entre as lâminas, mas durante o tratamento cada um dos quatro diafragmas se move automaticamente para uma posição em que maximiza a proteção contra vazamentos, não se movimentando para o campo que é delimitado pelo conjunto de lâminas [17].

Um sistema óptico é responsável por monitorar a posição das lâminas em tempo real no momento da aplicação da radiação, essa monitoração é feita por refletores que ficam próximos às extremidades de cada lâmina e, caso um possível erro de posição das lâminas ou alguma não seja identificada durante o tratamento, a aplicação da radiação é

interrompida [17]. A Figura 6 mostra os refletores das lâminas pelo item 2, e uma conformação de campo realizada pelas lâminas.

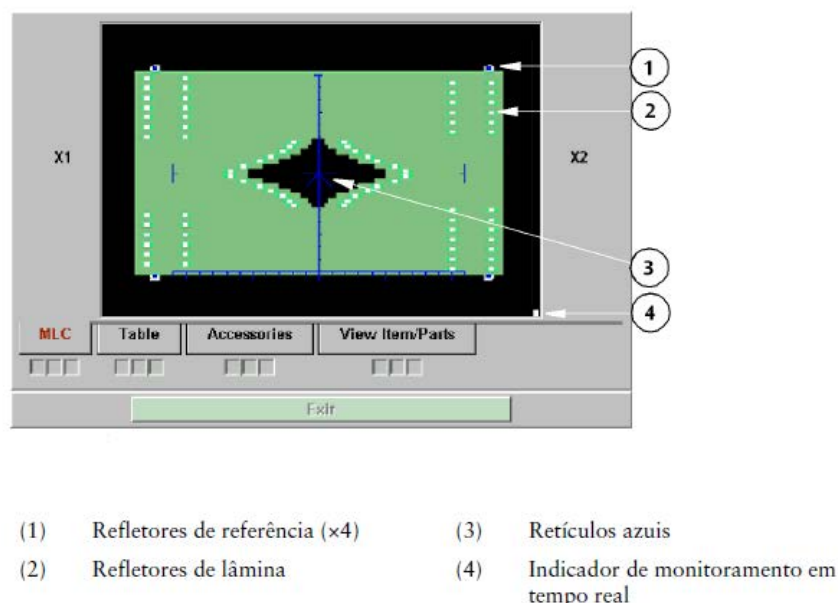


Figura 6 - Representação esquemática dos refletores presentes nas extremidades das lâminas.

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

A versão 3.0 do Integrity apresenta suporte para os itens citados anteriormente da versão 1.0, mas se diferencia, pois disponibiliza suporte para o MLC *Agility*, que é um colimador multi-lâminas de maior velocidade, que proporciona a modelagem de feixes com melhor resolução para um amplo espectro de terapias, isso é possível devido às 160 lâminas de 5,0 mm de espessura e a combinação de diafragmas fixos no eixo X e assimétricos no eixo Y, com lados de 40,0 cm x 40,0 cm. O MLC *Agility* é monitorado pelo sistema de posicionamento óptico *Rubicon*, o monitoramento ocorre, quando a luz ultravioleta de uma fonte LED produz fluorescência ao atingir os rubis presentes nas extremidades de cada lâmina, ela é detectada por uma câmara de infravermelho, indicando a posição das lâminas em tempo real no monitor [18-20]. Os MLC's são os responsáveis pelo tratamento, pois quando as lâminas se conformam de maneira que possibilita a passagem de radiação o tratamento ocorre, mas diferente disso a deposição de radiação na região prescrita é nula.

As versões do Integrity não disponibilizam todas as técnicas de aplicação de tratamento que a Elekta detém, pois a autorização para a utilização dessas técnicas esta diretamente ligada às licenças adquiridas no momento da compra de cada uma delas.

2. Objetivos

Compreender o princípio de funcionamento dos aceleradores lineares clínicos atualmente em uso nos serviços de radioterapia do Brasil.

Analisar o sistema de segurança e integração do acelerador linear da marca Elekta, modelo Precise instalado na Clínica de Radioterapia Arakawa do Hospital Unimed de Bauru.

Identificar os principais *interlocks* de segurança apontando as possíveis falhas de funcionamento ou erros de operação do A.L. Precise.

Elaborar um Manual de Identificação de Falhas de Operação para o A.L. Precise visando orientar a equipe de profissionais que atuam nos Serviço de Radioterapia que possuem este tipo de equipamento de teleterapia.

Introduzir o estudante da física médica no ambiente da radioterapia, e assim proporcionar a complementação dos tópicos assistidos durante as disciplinas teórico-práticas do curso de Bacharel em Física Médica do IBB- UNESP.

3. Revisão Bibliográfica

Como mencionado anteriormente atualmente existem duas grandes empresas responsáveis por vender os aceleradores lineares, a Varian *Medical Systems* e a Elekta *Medical Systems*, que apresentam diferentes máquinas com diferentes funções e sistemas de segurança e gerenciamento. Como um dos objetivos do trabalho foi compreender os aceleradores lineares instalados no Brasil, foi realizado um levantamento com os modelos que cada empresa esta disponibilizando atualmente para os compradores, com os seus respectivos sistemas e técnicas de tratamento.

3.1. Varian

A Varian *Medical Systems* esta fabricando quatro diferentes aceleradores lineares para realização de teleterapia, sendo eles TrueBeam, Trilogy *System*, Clinac iX e o Varian Unique [11]. Os três primeiros podem ser equipados com feixes de fótons e elétrons, sendo as energias para os feixes de fótons 4,0 MV, 6,0 MV, 8,0 MV, 10,0 MV, 15,0 MV, 18,0 MV, 20,0 MV e para os feixes de elétrons 6,0 MeV, 9,0 MeV, 12,0 MeV, 15,0 MeV, 16,0 MeV, 18,0 MeV, 20,0 MeV, 22,0 MeV, energias que são escolhidas pelo comprador no momento da solicitação da máquina. O Varian Unique não dispõe dessa ampla gama de energias, pois é um equipado com uma única energia de fótons 6,0 MV.

3.1.1. TrueBeam

O sistema TrueBeam foi projetado desde o início para tratar alvos móveis em qualquer parte do corpo com velocidade avançada e precisão, com as mais recentes técnicas de tratamento, incluindo Radiocirurgia Estereotática Corpórea (SBRT), Radiocirurgia Esterotática (SRS), VMAT e *Gated RapidArc*. O TrueBem integra o *respiratory gating* e rastreamento em tempo real, além disso, apresenta uma interface com várias tecnologias de imagem integrado com o sistema de planejamento *Eclipse* e o sistema de informação *ARIA*, que são os responsáveis por simplificar o planejamento e gerenciar os fluxos de tratamento, respectivamente [22,23].

O A.L. é equipado com o *Sistema Varian Calypso*, que auxilia o usuário no rastreamento em tempo real do tumor. O sistema de controle *Maestro* é responsável pela sincronização e monitoramento de todos os componentes tornando o tratamento mais rápido e eficiente. Esse design sofisticado do sistema do equipamento suporta a tecnologia *SmartConnect*, um suporte de modo remoto em tempo real que o serviço técnico da Varian disponibiliza para solucionar falhas que possam vir ocorrer com a máquina [22,23].

O linac é equipado com o sistema de imagem robótico da Varian *On Board Image (OBI)* constituído pelo *Portal Vision (PV)*, responsável pelas imagens planares, o *ConeBeam-CT (CBCT)* imagens 3D e as imagens fluoroscópicas, esse sistema de imagem possibilita o médico obter imagens de alta qualidade de tecidos moles e anatomia óssea. Para obter as imagens planares é utilizado o feixe de tratamento, o qual é detectado pelo PV posicionado oposto a janela de saída do feixe. As imagens tridimensionais são obtidas utilizando o CBCT, que são braços posicionados na lateral do *gantry* e emitem feixes de

quilovoltagem (kV). Por ser equipado com MLC o linac possibilita a entrega de uma maior dose no volume-alvo sem comprometer os tecidos adjacentes [22,23]. A Figura 7 apresenta o AL TrueBeam da Varian.



Figura 7 - Acelerador Linear Varian TrueBeam.

Fonte: Systems Varian Medical. The TrueBeam System [22].

3.1.2. Trilogy System

O acelerador linear Trilogy da Varian foi projetado para tratar grandes volumes de pacientes usando técnicas gerais com VMAT, *Gated RapidArc*, IMRT, SBRT, SRS, administrando altas taxas de dose no tratamento, com menores tempo de exposição. O AL é equipado com o sistema de imagem *OBI*. No momento da solicitação, o linac pode ser obtido com até três energias para realizar tratamento com feixe de fótons e até seis energias diferentes para realizar o tratamento com feixe de elétrons [24,25].

Para a realização de planejamento do tratamento dos pacientes o usuário pode utilizar o sistema de planejamento *Eclipse*, integrado com o sistema de informação *ARIA*. O Trilogy tornou-se uma plataforma estabelecida para radioterapias avançadas e à medida que novas tecnologias tornam-se disponíveis e suas práticas clínicas começam a crescer, a máquina está pronta para ser atualizada e ampliada [24,25]. A Figura 8 apresenta a imagem do linac Varian Trilogy.



Figura 8 - Acelerador Linear Varian Trilogy.

Fonte: Systems Varian Medical. Trilogy [24].

3.1.3. Clinac iX

O Clinac iX foi desenvolvido para oferecer recursos avançados para facilitar a realização dos tratamentos, reduzindo o risco aos tecidos saudáveis presentes próximos ao volume-alvo. O acelerador é equipado com o sistema de imagem *OBI* e fornece variedades nas imagens, incluindo imagens planares, imagens 3D e imagens fluoroscópicas, essas imagens obtidas auxiliam o posicionamento do paciente, para maior segurança e controle da posição do paciente, o Clinac dispõe do *Exact Couch*, uma superfície sólida e plana na mesa de tratamento para que o paciente possa ser posicionado da mesma forma da simulação na CT [26,27].

O A.L. pode ser adquirido com até três diferentes energias para feixes de fótons e uma série de diferentes energias para feixes de elétrons, além disso, conta com o modo de alta intensidade que possibilita entregar feixes de raios-X sem a utilização de filtros externos. O Clinac iX assim como os outros aceleradores da marca Varian é integrado com o sistema de planejamento *Eclipse* e o sistema de gerenciamento *ARIA* que integram perfeitamente a rotina clínica e o acelerador linear [26,27]. A Figura 9 apresenta esquematicamente o A.L. Clinac iX.



Figura 9 - Acelerador Linear Varian Clinac iX.

Fonte: Systems Medical Varian. Clinac [26].

3.1.4. Varian Unique

O Varian Unique é um acelerador linear que contém apenas uma energia de fótons, mas permite realizar uma série de técnicas de tratamento incluindo radioterapia 2D, 3D, IMRT e VMAT [28,29].

O A.L. é equipado com o PV que permite a verificação da posição e do tamanho de campo utilizado para tratar o paciente e com o MLC permitindo a aplicação da radiação em campos irregulares minimizando os danos causados pela radiação nos tecidos saudáveis. Através de uma interface o sistema de gerenciamento *ARIA* e o sistema de planejamento *Eclipse* são integrados, possibilitando que os médicos possam entrar com informações de diagnóstico, prescrições, imagens de referências e dosagens de cada tratamento [28,29].

O Unique pode ser atualizado para abranger técnicas mais avançadas, essa atualização pode ocorrer no momento da compra ou futuramente para suprir as necessidades da clínica [28,29]. O linac Unique é apresentado na Figura 10.



Figura 10 - Acelerador Linear Varian Unique.

Fonte: Systems Varian Medical. Unique Power Edition: Uncompromising Cancer Care for Everybody [28].

3.2. Elekta

A Elekta Medical Systems atualmente está fornecendo cinco aceleradores lineares nos modelos: Versa HD, Elekta Infinity, Elekta Synergy, Precise treatment system, Elekta compact [12].

3.2.1. Versa HD

O Versa HD foi projetado com a mais alta tecnologia para fornecer precisão e velocidade nos tratamentos das diversas patologias, diferenciando-se nas técnicas avançadas tais como VMAT, Radioterapia Estereotáxica Fracionada (SRT) e SRS. O equipamento é equipado com o MLC *Agility*, constituído de 160 lâminas finas com espessura de 5,0 mm que conformam campos e para a verificação do posicionamento das lâminas utilizam o sistema óptico *Rubicon*, proporcionando um desempenho único em tratamentos como SBRT e SRS onde os elevados gradientes de modulação e a taxa de dose efetiva representam um fator crítico [30].

O linac Versa HD é equipado com sistema de imagem *iViewGT* e *Volume View*, que possibilitam a aquisição de imagens 2D e 3D/4D, respectivamente. Para a obtenção das imagens planares é utilizado o feixe de tratamento que é detectado pelo PV posicionado ao lado oposto da janela de saída do feixe. As imagens 3D e 4D são obtidas através dos braços robóticos CBCT posicionados do lado do *gantry* que emite feixe de kV, as imagens

4D permitem a visualização de alvos móveis, auxiliando na redução de dose em órgão de riscos presentes na vizinhança do tumor [30]. A abertura máxima do campo de radiação é de 40,0 cm x 40,0 cm.

Para a realização do gerenciamento o linac é equipado com o sistema *Mosaiq*, que proporciona acesso às informações clínicas dos pacientes, o planejamento é realizado no sistema *Monaco* que é alimentado pelo algoritmo de Monte Carlo, algoritmo que possibilita o cálculo da dose e a definição do tratamento de forma precisa e eficiente. Todas essas ferramentas de alta tecnologia e terapias altamente sofisticadas são utilizadas de forma a reduzir o tempo de tratamento, proporcionando segurança e qualidade ao paciente [30]. O A.L. Versa HD é apresentado esquematicamente pela Figura 11.



Figura 11 - Acelerador Linear Elekta Versa HD.

Fonte: Elekta. Versa HD [30].

3.2.2. Elekta Infinity

O Elekta Infinity oferece o sistema de Radioterapia Guiada por Imagem (IGRT) e a técnica VMAT que é realizada variando a taxa de dose continuamente (CVDR) com o auxílio do MLC *Agility*. O linac é equipado com o sistema de imagem *iViewGT* e *Volume View* os quais permite obter imagens 2D, 3D e 4D, utilizadas para realizar o posicionamento do paciente antes de iniciar o tratamento [31].

Devido à avançada tecnologia de segurança digital, o sistema de controle Integrity, controla todos os parâmetros de entrega do feixe radiação durante o tratamento, este sistema de controle esta integrado com o sistema de gerenciamento *Mosaiq* [31]. A Figura 12 ilustra uma imagem do AL Elekta Infinity.



Figura 12- Acelerador Linear Elekta Infinity.

Fonte: Elekta. Elekta Infinity: Digital accelerator for advanced treatments [31].

3.2.3. Elekta Synergy

O Elekta Synergy foi o primeiro acelerador linear a trazer IGRT, pois é equipado com ferramentas de orientação e sistema de imagem que permitem o controle eficaz da posição do tumor no momento da entrega da dose. O sistema de imagem possibilita a aquisição de imagens 2D, 3D e 4D, as quais auxiliam na visualização dos tecidos moles e proporcionam maior confiança clínica no posicionamento do paciente. Além disso, dispõe de um colimador totalmente integrado com abertura de campo de 40,0 cm x 40,0 cm, aperfeiçoando o tratamento de volumes-alvo de maior dimensão [32].

A máquina é projetada para evoluir à medida que a sua prática clínica sofra incrementos e sofisticções, por este motivo a plataforma Synergy pode ser facilmente atualizada, permitindo que as clínicas de tratamento oncológicos, disponham de modalidades de imagens mais adequadas para a necessidade dos pacientes. [32]. O A.L. Synergy é apresentado na Figura 13.



Figura 13 - Acelerador Linear Elekta Synergy.

Fonte: Elekta. Elekta Synergy: Digital accelerator for advanced IGRT [32].

3.2.4. Elekta Precise Treatment System

O Elekta *Precise Treatment System* foi equipamento utilizado para o estudo e apresentado nas páginas 20 e 21 desse trabalho.

3.2.5. Elekta Compact

O Elekta Compact é um acelerador linear equipado com uma única energia de 6,0 MV de fótons de raios-X, mas oferece uma ampla variedade de técnicas de tratamento que vão desde a mais simples até a mais complexa incluindo IMRT, isso é possível porque o linac é equipado com o MLC, o qual molda o feixe de radiação com rapidez e precisão em relação ao volume-alvo [33].

O Compact conta com a interface do usuário Elekta, que facilita a entrada de dados, prescrição e entrega de tratamento ao sistema de gerenciamento *Mosaiq* e com o sistema de planejamento *XiO* permite que os planejamentos sejam feitos da melhor forma para a entrega do tratamento. O A.L. apresenta um design que o possibilita ser equipado futuramente com novas funções e recursos [33]. O linac *Compact* é apresentado na Figura 14.



Figura 14 - Acelerador Linear Elekta Compact.

Fonte: Elekta. Elekta Compact: Forward thinking [33].

4. Metodologia

Foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica relacionada com o tema da radioterapia, equipamentos emissores de radiações ionizantes, aceleradores lineares e técnicas de radioterapia. Nesta etapa do trabalho foram utilizadas as bases de dados virtuais, acervo bibliográfico e periódicos disponíveis na biblioteca do campus da UNESP de Botucatu, além de sites relacionados com assuntos sobre radioterapia.

A rotina de funcionamento da clínica de radioterapia pode ser acompanhada mediante visitas técnicas e convívio com os profissionais do serviço. Esta etapa teve início na instalação da máquina na clínica de radioterapia um dos pontos que facilitou a escolha da máquina a ser utilizada no estudo, no processo de instalação foi possível acompanhar todo o processo desde a retirada das peças das caixas até a realização dos testes de aceitação e comissionamento da máquina, processos realizados pelos engenheiros e físicos da empresa Elekta, respectivamente.

Após a instalação da máquina, mesmo antes de iniciar os tratamentos na clínica de radioterapia testes de controle de qualidade foram realizados pelo físico, os testes foram acompanhados a fim de compreender o funcionamento e a rotina do serviço de radioterapia.

Por estar realizando as visitas técnicas foi possível ter acesso aos manuais de funcionamento do acelerador linear modelo Precise da Elekta, disponibilizados pela

empresa a Clínica de Radioterapia Arakawa do Hospital Unimed Bauru. Os manuais utilizados foram “Instruções de uso – Modo Clínico” [21], “Complemento de instruções de uso – Modo Clínico” [35], “Instruções de uso – Modo de Serviço” [36], “Complemento de instruções de uso – Modo de Serviço” [37] e “Descrição geral da fonte de alimentação do acelerador linear e seus *interlocks*” [38].

Nas visitas técnicas foram identificadas as dificuldades que os profissionais encontravam quando havia ocorrência de falhas de funcionamento do A.L. Nesta ocasião foi elaborado o Manual de Orientação sobre os *interlocks* de funcionamento do A.L.

O Manual de Falhas de Operação desenvolvido neste trabalho foi submetido à avaliação pelos profissionais da clínica de radioterapia e foram feitas as adequações por eles solicitadas.

Como mencionado anteriormente, o acelerador linear instalado na clínica de radioterapia na Unimed é da marca Elekta e modelo *Precise Treatment System*, equipado com feixes de fótons e elétrons. Para o tratamento utilizando feixe de fótons, apresenta as energias de 6,0 MV e 10,0 MV e para tratamento com feixe de elétrons apresenta as energias de 4,0 MeV, 6,0 MeV, 9,0 MeV e 12,0 MeV [21,36]. É equipado com o MLC e colimadores independentes que tem abertura máxima do campo de tratamento de 40,0 cm x 40,0 cm com Distância Fonte Superfície (DFS) igual a 100,0 cm. No tratamento com feixe de elétrons como é necessária à utilização de cones aplicadores, acompanham os seguintes cones: 6,0 cm x 6,0 cm, 10,0 cm x 10,0 cm, 14,0 cm x 14,0 cm e 20,0 cm x 20,0 cm.

O sistema de controle Integrity instalado é a versão 1.2, e as técnicas de tratamento disponíveis para realização da aplicação de radiação são as *PreciseBeam segmental* e *PreciseBeam dynamics*. A técnica de tratamento *PreciseBeam segmental*, proporciona segmentos com diferentes parâmetros do acelerador linear e formas do MLC, ou seja, o *gantry* é posicionado no ângulo de tratamento, em seguida, as lâminas se conformam de acordo com o campo a ser irradiado e o tratamento pode ser iniciado. Na técnica *PreciseBeam dynamics* durante a irradiação as lâminas do colimador se ajustam conforme ocorre a entrega da dose ao volume-alvo [21,36].

Para realizar o planejamento o linac é integrado com o sistema *XiO* e para o gerenciamento das informações dos pacientes e controle das aplicações é utilizado o *Mosaiq*. Além disso, é alimentado pela tecnologia Elekta *IntelliMax*, que possibilita o acesso remoto pelos engenheiros da Elekta com a finalidade de monitorar ou solucionar problemas que ocorrem no equipamento.

O Linac Elekta Precise apresenta um sistema atualizável, por este motivo pode suportar alterações futuras, como a implantação do sistema *iViewGT*, que é um sistema de imagem opcional, esse acessório possibilita a realização de imagens 2D utilizando o feixe de tratamento, essas imagens podem ser utilizadas para verificação de garantia de qualidade (QA) do planejamento realizado, além de auxiliar no posicionamento. A Figura 15 mostra o acelerador linear Elekta Precise instalado na clínica de Radioterapia Arakawa do Hospital Unimed de Bauru.



Figura 15-Acelerador Linear Precise instalado na clínica de radioterapia da Unimed de Bauru

Fonte: Elaborado pelo autor.

O acelerador linear dispõe de um sistema de *interlocks*, que funciona como um sistema de bloqueio para interromper a energia para os sistemas e subsistemas da máquina, caso alguma falha seja detectada. O sistema de *interlocks* recebe informação das irregularidades por meio de três categorias de *interlocks Hardware, Firmware e Software* que oferecem proteção contra as falhas ou operação incorreta do equipamento, impondo que a máquina interrompa a sua ação com corte de energia dos sistemas e subsistemas, para que o usuário entenda a causa da interrupção do tratamento, mensagens referentes aos impedimentos são mostradas no monitor [38].

A primeira categoria de *interlocks* é a de *Hardware* dividida em cinco grupos: os Principais, os de baixa tensão (LT), os de Movimentos, os de alta tensão (HT) e os de frequência de repetição de pulso (PRF). A maioria desses bloqueios com exceção do PRF

tem a sua alimentação elétrica controlada diretamente por contadores denominados: CON-A, CON-B, CON-C, CON-D, CON-F, CON-H, CON-J e CON-K [38].

Os contadores tem a função de fornecer energia elétrica para os sistemas e subsistemas do linac, mas isso ocorre somente quando os interruptores dos contadores estão ligados à rede de alimentação elétrica de 24 V, enquanto todas as condições estão corretas e nenhuma falha é detectada, os interruptores permanecem fornecendo energia elétrica para o sistema, mas se uma condição insegura for detectada, o circuito responde abrindo os interruptores que fazem a alimentação elétrica do sistema, interrompendo a ação da máquina [38]. O circuito elétrico responsável pela alimentação do sistema *interlocks* do acelerador linear pode ser observado na Figura 16.

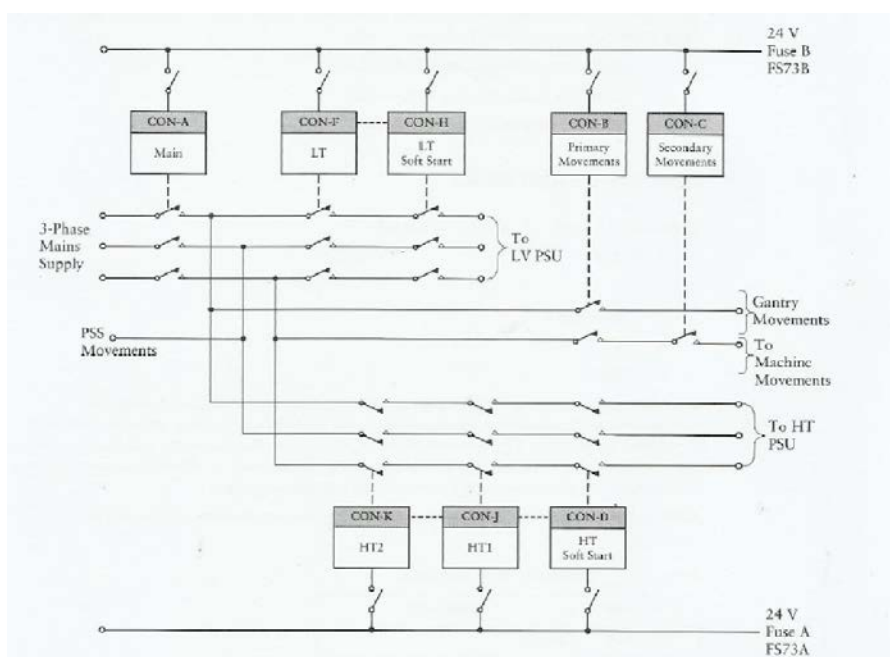


Figura 16 - Contadores, *interlocks* e sistema de alimentação.

Fonte: Elekta. Power supply and interlocks subsystems [38].

O CON-A é responsável pela alimentação elétrica do grupo dos Principais bloqueios de *Hardware*, esse grupo engloba os botões de parada de dentro e fora da sala de tratamento e os parâmetros de funcionamento críticos do sistema de água utilizado para o resfriamento do A.L., incluindo a pressão e temperatura da água, e a temperatura da bomba de água interna. Para que a alimentação do sistema não seja interrompida as condições presentes na Tabela 1 devem ser mantidas dentro dos limites de segurança estabelecidos pelo fabricante.

Tabela 1 – Condições de *interlocks* para o grupo principal

Parâmetros	Estado Satisfeito
Travas Específicas	Emergência Off- Segura
Temperatura da água de resfriamento	<42°
Software habilitado	ON
Pressão da água de resfriamento	> 0.2 bar (2.9 psi)
Temperatura da água de resfriamento interna	<90°

Fonte: Elekta. Power supply and interlocks subsystems [38].

O CON-F e CON-H são responsáveis pelo grupo de *interlocks* LT, quando os interruptores desses contadores estão ligados em série com o CON-A e recebem energia da fonte elétrica, a máquina apresenta-se em estado fechado (*closed state*), ou seja, energizada, mas sem nenhum movimento disponível [38].

O grupo de *interlocks* de Movimentos é dividido em dois circuitos o primário e secundário. O circuito primário é responsável por controlar o acionamento das teclas de paragem do controlador portátil (HHC) e os interruptores de movimento de parada. Para realizar a interação com o equipamento, o circuito primário é energizado pelo contator CON-B e para que a ação do equipamento não seja interrompida as condições presentes na Tabela 2 devem ser satisfeitas.

Tabela 2 - Condições de *interlocks* para o grupo dos movimentos primários

Parâmetros	Estado Satisfeito
Contator CON-A	On
LCS Desligamento de emergência	Não ativado
Intertravamento de motores de parada	Não ativado
Reset motor interlock	Não ativado

Fonte: Elekta. Power supply and interlocks subsystems [38].

Já o circuito secundário é energizado pelo CON-C, o qual quando energizado coloca a máquina no estado de preparação (*preparatory state*), mas para que o CON-C seja energizado os interruptores responsáveis por energizar o CON-B devem estar fechado, possibilitando a chegada de energia a ele, isso indica que os circuitos primário e secundário trabalham em conjunto, ou seja, se o circuito primário for interrompido o secundário não terá ação disponível [38]. O circuito secundário também apresenta

condições que o equipamento deve apresentar para que a sua ação não seja interrompida, essas condições são apresentadas pela Tabela 3.

Tabela 3 - Condições de *interlocks* para o grupo dos movimentos secundários

Parâmetros	Estado Satisfeito
Contator CON-A	On
Guardas de toque do dispositivo limitador do feixe	Não ativado ou substituído
Desligamento de emergência do LCS	Não ativado
CON-B	On
CON-C	On
Limite de base do Gantry	Dentro dos limites

Fonte: Elekta. Power supply and interlocks subsystems [38].

Quando todas as condições da tabela acima forem satisfeitas, o sistema é alimentado eletricamente, possibilitando a realização de ações com a máquina, mas caso uma condição insegura ocorra, haverá o corte de energia do sistema impossibilitando a continuação enquanto falha não for solucionada.

O grupo de *interlocks* HT é constituído de dois circuitos, o HT1 que é energizado pelo CON-J e o HT2 que é energizado pelo CON-K. No momento em que os contadores do grupo HT estão energizados o acelerador assume o estado de intersegmentos (*intersegment state*). O circuito HT1 impõe condições para que o *interlocks* não venha ocorrer, essas condições são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Condições de *interlocks* para o grupo HT1

Parâmetros	Estado Satisfeito
Contator principal CON-A	On
Dijuntor CB1	On
Intertravamento de portas 1	Todas as portas fechadas
Colimador, alvo, filtro primário e filtro secundário.	Corretamente posicionado e sem movimento
Pressão do vácuo do guia de ondas - target	Dentro dos limites
Pressão do vácuo do guia de ondas - gun	Dentro dos limites
HT habilitado	Intertravamento de HT habilitado

Fonte: Elekta. Power supply and interlocks subsystems [38].

O circuito HT2 assim como o HT1 impõe condições que devem ser mantidas para que o sistema opere corretamente, mas se essas condições não forem satisfeitas a máquina terá as suas ações interrompidas, a Tabela 5 apresenta as condições para que a máquina não tenha suas ações interrompidas.

Tabela 5 - Condições de *interlocks* para o grupo HT2

Parâmetros	Estado Satisfeito
Contator Principal CON-A	On
Dijuntor CB1	On
Intertravamentos de portas 2	Todas as portas fechadas
Pressão do vácuo do guia de ondas - target	Dentro dos limites
Pressão do vácuo do guia de ondas - gun	Dentro dos limites
Canal de dosimetria A	HT habilitado
Canal de dosimetria B	HT habilitado

Fonte: Elekta. Power supply and interlocks subsystems [38].

O circuito de alimentação HT inclui um recurso de partida suave que é de responsabilidade do contator CON-D, que é um dos quatros contatores, CON-A, CON-J, CON-K, CON-D e o disjuntor CB1 que estão ligados em série com a fonte de alimentação de três fases, e todos esses dispositivos devem ser energizados antes que a energia chegue ao HT PSU [38]. O circuito de HT partida suave é controlado pelo CON-D que permite a aplicação de energia elétrica reduzida ao HT PSU quando o CON-J e CON- K são energizados³⁸. Para que a energia elétrica chegue a esse circuito condições de *interlocks* são impostas, e podem ser observadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Condições de *interlocks* para o grupo HT de partida suave

Parâmetros	Estado Satisfeito
Contator Principal CON-A	On
Disjuntor CB1	On
Contator CON-J do grupo HT1	On
Contator CON-K do grupo HT2	On

Fonte: Elekta. Power supply and interlocks subsystems[38].

Os *interlocks* HT são os responsáveis pelas condições críticas, e para que não ocorra o corte de energia da máquina, as portas da sala devem estar fechadas, a pressão do vácuo deve estar correta, os parâmetros operacionais do sistema de dosimetria devem estar corretos e os colimadores e filtros posicionados corretamente no BLD [38].

O grupo de *interlocks* PRF diferente dos demais, não age utilizando energia elétrica diretamente através de um contator, mas para que a sua ação seja mantida ativa, todas as condições de *interlocks* dos outros grupos devem ser respeitadas, para que a energia elétrica seja aplicada a todos os contadores do sistema, pois se alguma falha for detectada ocorre a desativação da geração de impulsos de disparos do *Thyratron* para o subsistema de radiofrequência (RF), interrompendo a irradiação³⁸. O grupo de *interlocks* PRF é dividido em dois circuitos PRF A e PRF B, assim como todos os outros grupos citados anteriormente esses dois circuitos apresentam condições que impõe se ocorrerá ou não o impedimento no A.L. As condições do circuito PRF A é apresentado pela Tabela 7.

Tabela 7 - Condições de *interlocks* para o grupo PRF A

Parâmetros	Estado Satisfeito
Contator CON- F do grupo LT	On
Contator CON-J do grupo HT1	On
Contator CON-K do grupo HT2	On
Estado de chave <interrompido>	Off
Estado de chave <terminado>	Off
Filtro	Dentro ou fora
Aplicador	Dentro ou fora

Fonte: Elekta. Power supply and interlocks subsystems [38].

A Tabela 8 apresenta as condições de operação normal para que o circuito PRF B continue operando de maneira correta sem a interrupção da produção de radiação.

Tabela 8 - Condições de *interlocks* para o grupo PRF B

Parâmetros	Estado Satisfeito
Contator CON-D do grupo HT	On
Contator CON-HT do grupo LT	On
Pressão do gás	Ok
Frequência de repetição de pulso	Ok

Circuito do colimador	Completo
Fonte: Elekta. Power supply and interlocks subsystems [38].	

A segunda categoria de intertravamentos é a dos *interlocks* de *Firmwares* os quais estão relacionados com os *interlocks* de *hardware*, essa categoria é responsável por comparar as condições da máquina com os valores de referência, a fim de verificar a compatibilidade das condições impostas [38].

A terceira categoria é a dos *interlocks* de *software*, os quais residem no sistema de controle do linac (LCS) e são usados para conduzir e verificar os demais *interlocks*. O LCS é responsável por estar continuamente monitorando as condições da máquina, essa monitoração tem como objetivo certificar-se que as condições estão dentro dos limites de segurança e compatíveis com os parâmetros, isso inclui a monitoração e o controle das configurações da radiação, da dosimetria, e da proteção e verificação do desempenho da máquina. A configuração da radiação permite que o LCS verifique se os valores prescritos estão de acordo com os valores reais, se as condições forem válidas uma mensagem de confirmação é enviada ao monitor do comando confirmando [38].

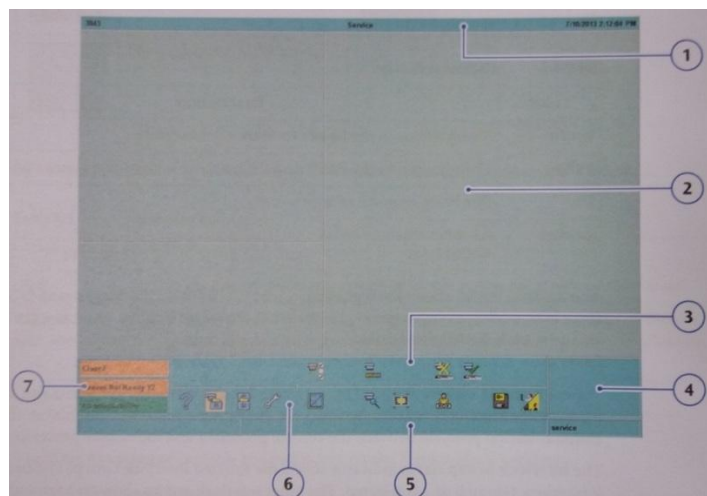
Para comprovar a eficiência do Manual de Falhas de Operação (MFO) foram realizados ensaios propositais de falhas operacionais na A.L. levando em consideração os padrões exigidos pelo sistema de *interlocks*, padrões que fora dos limites estabelecidos implicam na interrupção da energia para o sistema. Após realizar os ensaios propositais com o auxílio do MFO, os profissionais do serviço souberam tomar as decisões para religarem o sistema.

5. Resultados e Discussão

Com base na análise dos manuais de funcionamento do A.L. Precise foi possível ter acesso a informações que possibilitam diferenciar as duas interfaces que compõe o sistema de controle Integrity, o Modo de Serviço e o Modo Clínico, que apresentam diferentes funções entre elas e em relação a versões antigas do Integrity.

O modo de serviço é utilizado pelo usuário de serviço, identificado pelo “login” e “senha” no momento do acesso. O modo de serviço é utilizado para executar tarefas de manutenção e calibração do linac e seus acessórios, utilizado para o tratamento dos

pacientes [36,37]. O modo de serviço na janela de inicialização apresenta o fundo verde e ferramentas de ajustes de parâmetros. A Figura 17 apresenta a janela do modo de serviço.



- | | |
|--|---|
| (1) Barra de título | (5) Barra de ferramentas de funções secundárias |
| (2) Área principal | (6) Indicadores do status do sistema |
| (3) Indicadores do status da máquina | (7) Barra de informações e orientação |
| (4) Barra de ferramentas de funções principais | |

Figura 17 - Janela de inicialização do modo de serviço.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como a versão do sistema de controle instalado no A.L. Precise é a 1.2, com base nos manuais de funcionamento a versão do Integrity 1.2, apresenta algumas mudanças em relação à versão anterior, as mudanças são listadas abaixo.

- Se as lâminas do colimador (MLC) estiverem fora do intervalo do tratamento prescrito, a irradiação não ocorre, pois a prescrição é rejeitada.
- Em uma terapia padrão não é necessário inserir os valores das Unidades Monitoras (UM) de backup, pois o Integrity as calcula automaticamente, mas não realiza o cálculo da UM prescrita, então esses valores devem ser inseridos novamente pelo usuário no momento do tratamento.
- A configuração automática (ASU) dos acessórios do A.L. pode ser ativada ou desativada, se necessário, para cada acessório configurado.
- As energias configuradas para feixe de fótons e de elétrons podem ser ativadas ou desativadas quando o usuário está logado no Modo de Serviço, mas na etapa de receber prescrição externa o tratamento pode ser rejeitado, pois a prescrição

recebida e carregada pelo sistema estava com a energia que seria utilizada desativada [36,37].

O Modo Clínico é utilizado pelo usuário qualificado para tratar os pacientes, assim como no modo de serviço, o usuário dispõe de um “login” e “senha” que o identifica no momento do acesso, esta interface tem como objetivo exclusivo realizar o tratamento com aplicação de radiação ionizante [21,35]. Para distinguir as janelas iniciais, o fundo da janela do modo clínico é rosa. A Figura 18 apresenta a janela do modo clínico.

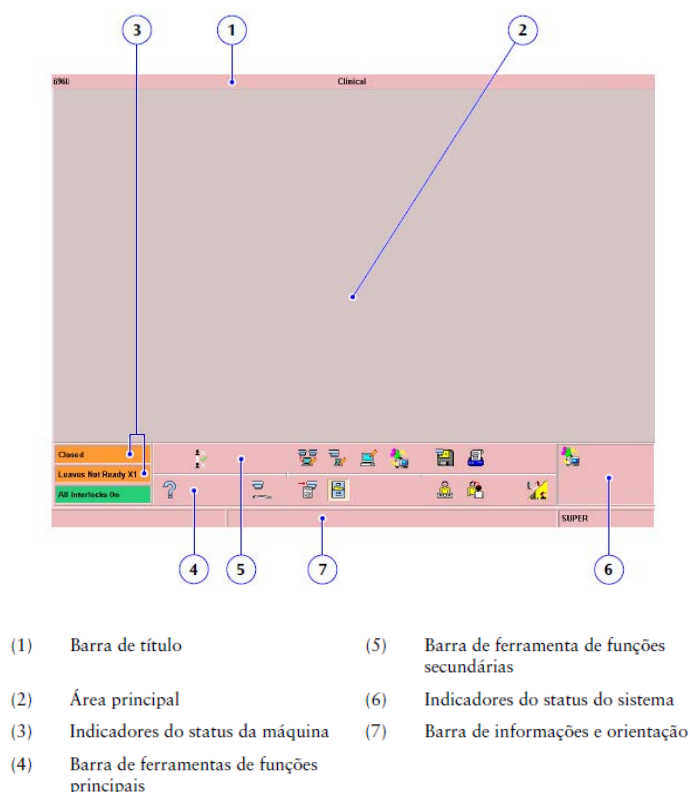


Figura 18 - Janela de inicialização do modo clínico

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

O modo clínico da versão 1.2 do Integrity também apresenta alteração em relação à versão anterior, esta alteração possibilita a realização do procedimento *gating* e a utilização do sistema *Response*, separados ou ativados para trabalhar em conjunto. Então para que ocorra o *gating automático* é preciso conectar o sistema de controle ao sistema de monitoramento da posição do paciente (PPMS) ao sistema *Response*, essa união proporcionará o sistema de controle *Gating Response*, que é uma interface do sistema de posicionamento de posição do paciente e o acelerador linear. O PPMS é responsável por enviar instruções para o sistema *Response* para interromper ou continuar a aplicação da

radiação, ações que estão relacionadas com as informações cedidas pelo PPMS sobre a posição do paciente [21,35]. Para fazer a ativação do *gating automático* o usuário clínico pressiona o botão *Gating Enable* (Ativar *Gating*) no módulo de controle *Reponse*, como mostra a Figura 19, que demonstra com os itens 1, 2, 3, 4 e 5, o LED de conexão do USB, o LED do módulo de transmissão, O LED de *gating* ativado/desativado, o LED de *gating* ativado/ falha e o botão *Gating Enable* (Ativar *gating*), respectivamente.

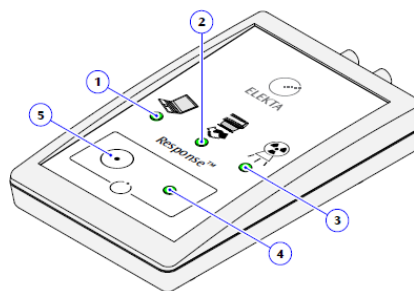


Figura 19 - Módulo do controle response.

Fonte: Elekta. Integrity R1.2: Instructions for Use Supplement- Clinical Mode [35].

Quando o *gating automático* está ativado, o PPMS controla o sistema *Response*. O sistema *Response* se conecta ao sistema de *interlock* da frequência de repetição de pulso (PRF), ou seja, quando ocorre esse intertravamento é interrompido a transmissão de pulsos, interrompendo assim a aplicação de radiação. Para não ocorrer o intertravamento o PPMS deve estar conectado ao sistema *Response* e o *gating automático* estar ativado [21,35].

Para iniciar o sistema de controle Integrity, a Elekta recomenda que o programa seja iniciado no Modo Clínico, para verificar e certificar-se que o banco de dados do A.L. esteja carregado. Primeiramente, no momento da inicialização o monitor do gabinete de controle de tratamento (TCC) deve ser ligado, quando o TCC for ligado o acelerador linear estará em estado fechado, ou seja, com energia, mas sem nenhum movimento disponível [21,35].

Ao iniciar o TCC, o sistema executa alguns testes, se os testes forem executados com sucesso, as luzes indicadoras aparecerão verdes, caso as luzes apareçam amarelas os testes não foram bem sucedidos e um aviso será emitido, permitindo que a operação do A.L. continue, mas com a iniciação automática do Integrity impedida, e se as luzes aparecem vermelhas os testes não foram realizados com sucesso e um erro crítico aconteceu. Após a realização dos testes, caso sejam finalizados com sucesso, o Integrity pode ser inicializado, mas para abrir a caixa de diálogo para que o usuário acesse, o botão

Launch Integrity (iniciar o Integrity) deve ser clicado [21,35]. A Figura 20, indica com o item 1 as luzes indicadoras dos testes e o item 2 indica o botão *Launch Integrity* (iniciar o Integrity).



Figura 20 - Janela iniciar do console.

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

Após clicar o botão, a janela de acesso ao sistema será aberta e o usuário deve logar, utilizando os dados de identificação [35]. A janela para iniciar o Integrity é representada na Figura 21.



Figura 21 - Caixa de diálogo login do Integrity.

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

Quando o usuário realiza o “login” a tela inicial apresenta os indicadores do status da máquina. Existem três indicadores de status da máquina, que mostram o estado no

linac, o nível mais alto de impedimento e o grupo de intertravamento em que o linac se encontra [21,35]. A Figura 22 mostra os indicadores do status da máquina.

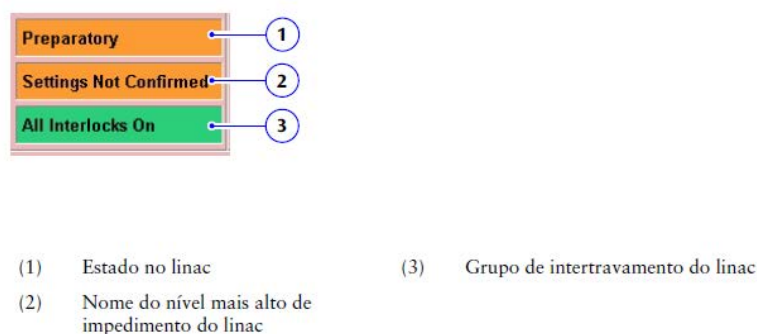


Figura 22 - Indicadores de status do acelerador linear

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

O estado no linac indica qual o estado atual da máquina, a cor de fundo dos indicadores pode variar de acordo com o estado que a máquina se encontra.

- Verde: O sistema está no estado *Ready to Start* (Pronto para começar)
- Amarelo: O sistema está no estado *Radiation On* (Radiação Ligada)
- Vermelho: O feixe foi finalizado com uma falha
- Laranja: Todos os outros estados da máquina

O nível mais alto de impedimento é responsável por indicar o maior impedimento da máquina, se o fundo estiver laranja há impedimento, mas se fundo estiver verde não há impedimento. Caso apresente um impedimento, deve-se clicar duas vezes na área indicando o impedimento para mostrar a caixa de diálogo *View Restrictions* (Exibir restrições), assim serão mostradas as 12 principais restrições, então esta lista deve ser usada para mostrar os impedimentos, suspensões interrupções e finalizações. Se aparecer *XVI* ou *External Inhibit* (Impedimento externo) o impedimento deve ser solucionado. Em geral, a causa dos impedimentos externos são os sistemas conectados aos circuitos de *interlocks* [21,35].

O Grupo de Intertravamento apresenta o fundo verde e sempre mostra o status *All Interlocks On* (Todos os intertravamentos ligados) esse status não é possível alterar, o A.L. dispõe de uma ampla gama de intertravamento de *Hardware* e *Software* que oferecem proteção contra falhas de sistema ou operações de risco [21,35].

Para maior segurança na aplicação do tratamento quando ocorre uma alteração em algum dos três estados da máquina abaixo:

- *Radiation On* (Radiação Ligada)
- *Intersegment* (Entre segmentos)
- *Terminated OK* (Finalizado OK)

Ocorre uma verificação secundária nos valores reais do campo que é realizada pelo inspetor de aplicação, o qual utiliza como limites os valores definidos pelo usuário na tabela de tolerância do iCom, caso seja detectado uma diferença entre os valores de parâmetros *Set* (Definidos) e *Atual* (Reais) que seja superior aos limites determinados na tabela, o inspetor de aplicação vai :

- Causar o impedimento *Delivery Mistach* (Discrepancia na aplicação).
- Finalização da aplicação.
- Mostrar uma condição *Terminated Fault* (Falha finalizada).

A Figura 23 mostra as condições que o inspetor de aplicação impõe o A.L. após as diferenças nos valores definidos.

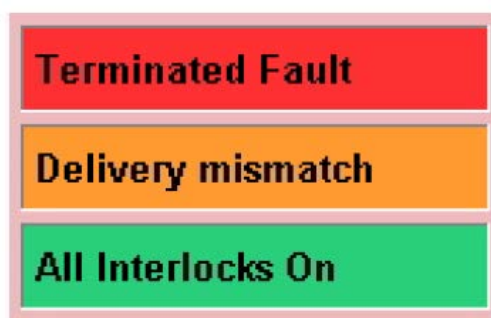


Figura 23 - Indicadores de status da máquina nas condições de discrepância de aplicação.

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

O inspetor de aplicação é monitorado pelo Integrity, caso ocorra uma falha nesta comunicação o sistema de controle interrompe a aplicação da radiação.

Na aplicação da radiação são utilizados alguns acessórios alimentados por energia elétrica e se por algum motivo esses acessórios forem posicionados de maneira incorreta que possam interferir na energização dos mesmos, ocorre o impedimento da irradiação, pois o sistema detecta isso como uma falha.

O porta bandeja e os cones aplicadores de elétrons são os principais acessórios alimentados eletricamente utilizados na rotina clínica, então no momento de acoplá-los na máquina deve-se ter a atenção redobrada, pois se colocados de maneira incorreta além de impedir o tratamento podem se desprender e atingir o paciente causando danos graves.

O porta bandeja é utilizado para a aplicação de feixe de fótons conectando-o no dispositivo limitador de feixe (BLD), o sistema de controle de tratamento (TCS) lê o número do porta bandeja, esse número torna-se seu registro no sistema, ou seja, sempre que for posicionado o sistema o identificará por esse número, mas se algo estiver errado ou fora dos parâmetros o porta bandeja será negado e o acelerador emitirá um som constante até que ele seja posicionado da maneira correta [21].

Para que seu engate seja feito de maneira correta e segura, primeiramente deve-se observar o rótulo de identificação que indica se a porta bandeja é curta ou longa e posicioná-lo como indica a Figura 24.



Figura 24 - Acoplar e remover o porta bandeja.

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

O modo clínico e de serviço, apresentam indicadores de campos que possibilitam os profissionais se orientarem no momento da entrada dos dados, evidenciando os erros que poderiam comprometer a integridade do paciente. Esses indicadores de campo tem por finalidade apresentarem sinais visuais quando o valor inserido não for válido ou estiver fora dos limites de tolerância. Quando os valores inseridos não forem válidos, aparecerá uma cruz azul no quadro indicador posicionado ao lado esquerdo do campo preenchido, como se pode observar na Figura 25.



Figura 25 - Indicador de campo de dados para dados inválidos

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

Já quando os valores inseridos estiverem fora dos limites de tolerância o quadro indicador ficará completamente vermelho, indicando que o tratamento não começará ou

continuará se os valores não forem ajustados, a Figura 26 representa o valor inserido fora dos limites de tolerância.

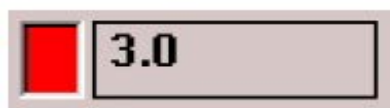


Figura 26 - Indicador de campo de dados para dados fora de tolerância

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

Por haver mais de uma página na tela inicial, existem guias de seleção de páginas, que quando clicadas torna a página ativa, além disso, as páginas possuem indicadores de status da página que possibilita o usuário orientar-se sobre a situação da página. As guias de páginas podem ser observadas na Figura 27.



Figura 27 – Guias para a seleção das páginas.

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

A página apresenta três indicadores de status que permanecem verdes se a página está preenchida corretamente, o indicador esquerdo fica vermelho quando um valor em um campo de dados esta fora de tolerância, o indicador da direita fica azul quando não há um valor que não é válido em um campo de dados obrigatórios e o indicador central é exibido em branco quando um ou mais campos de dados são alterados durante a sessão atual. Esses indicadores podem ser observados na Figura 28.

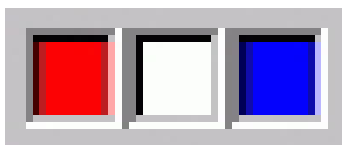


Figura 28 - Indicador de status de página.

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

No final da rotina clínica, para realizar o *log out* do sistema de controle, o botão de comando *Log off* no canto inferior da janela deve ser clicado. O botão de comando *log out* é indicado pela Figura 29.

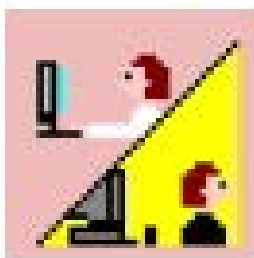


Figura 29 - Botão de comando *Log Off*.

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

Após clicar o botão, uma caixa de diálogo *Log Off* é aberta, com as opções “sim” e “não”, para fechar o Integrity e colocar a máquina em estado de máquina fechado basta clicar em “sim”, caso contrário “não”. A caixa de diálogo *Log Off* aberta é similar a da Figura 30.



Figura 30: Caixa de diálogo *Log Off*.

Fonte: Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode [21].

Como o propósito do trabalho era compreender o funcionamento do acelerador linear Precise da Elekta e entender os mecanismos de segurança através dos *interlocks* de operação, o resultado da pesquisa está expresso na forma de um Manual de Falhas de Operação, o qual procura orientar os usuários do equipamento para as atitudes adequadas que devem ser realizadas para se garantir a reoperação da máquina em menor tempo possível e sob as condições seguras exigidas pelo fabricante Elekta.

O Manual de Falhas de Operação, na sua íntegra, está apresentado no Apêndice A deste trabalho, e foi submetido à avaliação prévia pela equipe de profissionais, médicos, físicos, dosimetristas e tecnólogos da Clínica de Radioterapia Arakawa do Hospital Unimed de Bauru. Foram realizados ensaios propositais de falhas operacionais na A.L. e com o auxílio do MFO, os profissionais do serviço souberam tomar as decisões para religarem o sistema em menor tempo de parada do que se tinha sem o MFO.

Após os devidos ajustes do texto, o material foi considerado apropriado para o uso na rotina do serviço, e sua eficiência atestada pela equipe.

As leituras dos textos do fabricante, aliadas à experiência obtida junto à rotina do serviço de radioterapia, identificaram os principais *interlocks*, abaixo listados, os quais compõem o MFO.

Relação dos principais interlocks do Precise:

- 1 – Mistach Text;
- 2 – Impedimento do Gantry;
- 3 – Cooling Water Overtemperature;
- 4 – Cooling Water Pressure;
- 5 – Water Pump Temperature;
- 6 – PRF En Chk;
- 7 – Impedimentos: i18 e i205;
- 8 – Impedimento: i40;
- 9 – Impedimento: i41;
- 10 – Impedimento: i42;
- 11 – Impedimento: i79 ou i72;
- 12 – Impedimento: i83;
- 13 – Impedimento: i199;
- 14 – Impedimento: i202, i199 e i525;
- 15 – Impedimento: i203;
- 16 – Impedimentos: i258 e i259;
- 17 – Impedimentos: i304 e i384;
- 18 – Impedimento: i324;
- 19 – Impedimento: i384;
- 20 – Impedimento: i259 e i530.

Os impedimentos podem ocorrer por dois principais motivos, desatenção e falta de manutenção e controle de qualidade do equipamento, pois a grande carga de trabalho faz com que algumas peças se desalinhem ou desgastem não cumprindo com as funções a elas estabelecidas, exemplos que se encaixam a essas duas categorias seriam respectivamente, quando o usuário posiciona o porta bandeja com a bandeja codificada errada em relação a que seria utilizada no tratamento do paciente e quando algum dos

refletores das extremidades das lâminas são desgastados com o tempo e não são mais detectados pelo sistema, essas duas condições implicariam na interrupção do tratamento.

A interrupção do tratamento se dá pelo corte de energia aos sistemas e subsistemas da máquina, isso ocorre devido as condições de risco detectadas, essas condições englobam as variações nos parâmetros inseridos e tabelados do equipamento, e condições que se encontram fora dos padrões de segurança estabelecido aos sistemas de *interlocks* e segurança.

Os impedimentos serão indicados ao usuário através dos indicadores de estados da máquina e para que o usuário tenha consciência do problema detectado, o indicador de status com o texto “*inhibits*” deve ser clicado por duas vezes essa ação implicará na abertura da caixa de diálogo “*View Restrictions*”, que conterá as ações que devem ser realizadas para eliminar o impedimento.

O corte de energia para os sistemas do linac causará um impedimento na máquina que pode apresentar soluções complexas e simples, caso o impedimento detectado seja simples o próprio usuário responsável pelo serviço pode realizar procedimentos e restabelecer a energia para o equipamento, dando continuidade ao tratamento do paciente, mas se o impedimento for complexo, o usuário não poderá tomar qualquer atitude, a melhor forma de resolver é entrando em contato com os engenheiros da empresa que darão suporte para restabelecer o tratamento.

Os principais responsáveis por detectar e interromper a energia elétrica que chega ao sistema do linac são os sistemas de controle e de *interlocks*, pois o Integrity está a todo momento realizando a verificação dos parâmetros e condições da máquina, enquanto que o sistema de *interlocks* é constituído de vários circuitos desenvolvidos para trabalhar em conjunto, isso indica que se algum circuito tiver o corte de energia devido a uma falha, implicará na interrupção da máquina por um todo, pois o conjunto apresentará uma parte com defeito.

O fato de todos os circuitos do sistema de *interlocks* estarem interagindo em conjunto apresenta características boas e ruins. Pode-se considerar uma característica boa o fato de que se um circuito apresentar uma falha na detecção do impedimento o outro grupo se responsabilizará, detectando-o e realizando o corte de energia para o sistema, mas isso apresenta um lado negativo, característica ruim, pois será difícil detectar o circuito que apresenta a falha, fazendo com que isso seja detectado somente quando houver uma falha geral de todos os circuitos.

6. Conclusão

A interação entre os sistemas de controle Integrity e de *interlocks* são de suma importância para a eficiência, precisão e segurança em um tratamento de radioterapia, pois apresenta suporte para uma ampla gama de técnicas de tratamento, suporte para a utilização dos colimadores multi-lâminas que se conformam o mais próximo possível dos volumes-alvo e estão a todo o momento realizando a verificação dos parâmetros e estados em que a máquina se encontra, desde o momento do recebimento dos dados vindos do sistema de gerenciamento até no momento da aplicação do tratamento.

O Manual de Falhas de Operação (MFO) desenvolvido neste trabalho mostrou-se eficiente para o auxílio dos profissionais para a identificação de falhas na rotina dos trabalhos da clínica de radioterapia, minimizando o tempo em que a máquina ficava parada em relação ao tempo antes do desenvolvimento do manual.

O desenvolvimento deste trabalho proporcionou a interação do aluno de física médica no ambiente da radioterapia, o que além de contribuir para a formação do estudante, favorece a sua decisão em relação à continuidade dos estudos a nível de aprimoramento profissional na área da radioterapia.

Com base nesse estudo e nos resultados obtidos, todos os serviços de radioterapia deveriam ter um Manual de Falhas de Operação, pois com esse documento as clínicas estariam mais preparadas caso algum impedimento ocorresse e não estaria completamente a mercê dos engenheiros das empresas responsáveis pelas máquinas. O manual poderia ser desenvolvido pelas próprias empresas e cedido aos compradores na aquisição das máquinas, como um manual indispensável para a rotina clínica.

7. Referências

- 1- Cardoso MJD. Estudo dosimétrico para implementação da técnica radioterapêutica Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT). Lisboa: Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa; 2011.
- 2- Moraes BH, Marangoni AC. Características e funcionamento dos aceleradores lineares em radioterapia e aspectos da evolução do planejamento radioterápico. Tek e Log. Dez 2015; v.6 n.2: 140-154.
- 3- Fontana JM. Análise da rotina do serviço de física médica no setor de radioterapia: procedimentos diários – dosimetria e pesquisa científica. Botucatu: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”; 2014.
- 4- Jham BC, Freire ARS. Complicações bucais da radioterapia em cabeça e pescoço. Ver Bras Otorrinol. Set/Out 2006; 72(5): 704-708.
- 5- De Lima BC, Lima Junior LC, Lopreto CAR, Buzo Junior PR, Basaglia R. Modalidades da radioterapia: Teleterapia, braquiterapia e radiocirurgia. Três Lagoas: Bruna Cristina de Lima.
- 6- Eduardo MBP, Novaes HMD. Análise de conformidades às normas técnicas de proteção radiológica dos serviços de radioterapia no Estado de São Paulo, Brasil. Cad Saúde Publica. 2004. 20 sup.2: S256-S267.
- 7- Clemente ASM. Radioterapia adaptativa: Utilização de cone-beam computed tomography para o cálculo de dose em radioterapia. Lisboa: Instituto Politécnico de Lisboa - Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa; 2013.
- 8- Nandi DM. Estudo de funcionalidade e segurança para aceleradores lineares utilizados em radioterapia – Uma contribuição para a gestão de tecnologia médico hospitalar [Dissertação de Mestrado]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2004.
- 9- Tada A. Análise dosimétrica de fontes de radiação para uso em lesões dermatológicas [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN); 2010.
- 10- Tauhata L, Salati IPA, Prinzio R.Di, Prinzio MARRDi. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos. 5ª revisão. Rio de Janeiro. Agos/2013.
- 11- Varian MS. About Varian, helping to save lives around the world [Internet]. Acesso em: 08/10/2014. Disponível em: <https://www.varian.com/about-varian>.

- 12- Elekta, About Elekta [Internet]. Acesso em: 08/10/2014. Disponível em: <https://www.elekta.com/company/>.
- 13- Elekta. Precise Treatment System: Clinically Flexible Digital Linear Accelerator [Internet]. Jun/2011. 12p. Acesso em: 19/08/2016. Disponível em: <https://www.elekta.com/radiotherapy/treatment-delivery-systems/precise-treatment-system.html>.
- 14- Medical D. FDA clears Elekta Integrity R1.1 treatment control system [Internet]. Fev/2012. Acesso em: 19/08/2016. Disponível em: <http://www.medicaldevice-network.com/news/newsfda-clears-elekta-integrity-r11-treatment-control-system>.
- 15- Elekta. New Digital Accelerator Control System Demonstrates Treatment Time Savings of Up to 30 Percent [Internet]. Agosto/2011. Acesso em: 19/08/2016. Disponível em: <https://www.elekta.com/press/ffa356b4-590f-4ebc-a776-ea4c48e0829a/new-digital-linear-accelerator-control-system-demonstrates-treatment-time-savings-of-up-to-30-percent.html>.
- 16- Bertelsen A, Lorenzen EL, Brink C. Validation of a new control system for Elekta accelerators facilitating continuously variable dose rate [Internet]. Agosto/2011. Acesso em: 19/08/2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21928653>.
- 17- Elekta. DICOM Conformance Statement For Integrity Release 1.0. Abr/2010. 38 p.
- 18- Elekta. DICOM Conformance Statement For Integrity Release 3.0. Out/2011. 40 p.
- 19- Elekta. DICOM Conformance Statement For Integrity Release 3.1. Ago/2012. 39 p.
- 20- Elekta. Software Product Security Statement for Integrity Release 3.2. 7p.
- 21- Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use - Clinical Mode for: Precise Digital accelerator (Precise Treatment System), Elekta Synergy Platform, Elekta Synergy, Elekta Synergy S, Elekta Axesse, Elekta Infinity, MLCi, MLCi2, Beam Modulator. 2011. 336 p.
- 22- Varian Medical Systems. The TrueBeam System [Internet]. Setembro/2013. Acesso em: 22/08/2016. Disponível em: <https://www.varian.com/pt-br/oncology/products/treatment-delivery/truebeam-radiotherapy-system>.
- 23- Varian Medical Systems. TrueBeam [Internet]. 16 p. Setembro/2013. Acesso em: 22/08/2016. Disponível em: https://www.varian.com/sites/default/files/resource_attachments/TrueBeamBrochure_RAD10119D_September2013.pdf.

- 24- Varian Medical Systems. Trilogy Configuration of the Clinac iX linear accelerator [Internet]. 16 p. Agosto/2005. Acesso em: 23/08/2016. Disponível em: <https://www.varian.com/pt-br/oncology/products/treatment-delivery/trilogy-system>.
- 25- Varian Medical Systems. Trilogy [Internet]. Set/2010. 7 p. Acesso em: 23/08/2016. Disponível em: https://www.varian.com/sites/default/files/resource_attachments/trilogy_brochure_1013_Final.pdf.
- 26- Varian Medical Systems. Clinac Linar Accelerator [Internet]. Set/2013. 12 p. Acesso em: 23/08/2016. Disponível em: <https://www.varian.com/pt-br/oncology/products/treatment-delivery/clinac-ix>.
- 27- Varian Medical Systems. Clinac [Internet]. 12 p Acesso: 23/08/2016. Disponível em: https://www.varian.com/sites/default/files/resource_attachments/Clinac.pdf.
- 28- Varian Medical Systems. Unique: Tratamento Completo Para Radioterapia [Internet]. 2012/2014. Acesso em: 23/08/2016. 13 p. Disponível em: <https://www.varian.com/pt-br/oncology/products/treatment-delivery/unique-system>.
- 29- Varian Medical Systems. Unique Power Edition: Uncompromising Cancer Care for Everybody [Internet]. Out/2010. Acesso em: 23/08/2016. Disponível em: http://www.behestandarman.com/varian%20products/Delivery%20systems/UNIQUE/UNIQUE%20Power%20Brochure%20VEO_1010.pdf.
- 30- Elekta. Versa HD [Internet]. Acesso em: 19/08/2016. Disponível em: <https://www.elekta.com/radiotherapy/treatment-delivery-systems/versa-hd.html>.
- 31- Elekta. Elekta Infinity: Digital accelerator for advanced treatments [Internet]. Set/2011. 12 p. Acesso em: 19/08/2016. Disponível em: <https://www.elekta.com/radiotherapy/treatment-delivery-systems/elekta-infinity.html>.
- 32- Elekta. Elekta Synergy: Digital accelerator for advanced IGRT [Internet]. Nov/2011. 11p. Acesso em: 19/08/2016. Disponível em: <https://www.elekta.com/radiotherapy/treatment-delivery-systems/elekta-synergy.html>.
- 33- Elekta. Elekta Compact: Forward thinking. 11p. Acesso em: 19/08/2016. Disponível em: <https://www.elekta.com/radiotherapy/treatment-delivery-systems/elekta-compact.html>.
- 34- Elekta. Integrity: The foundation of advanced RT [Internet]. 2 p. Acesso em: 25/08/2016. Disponível em: http://www.radpro.eu/radproexpo2011/elekta/0850_06_10_integrity_a3.pdf.

- 35- Elekta. Integrity R1.2: Instructions for Use Supplement- Clinical Mode for: Precise Digital accelerator (Precise Treatment System), Elekta Synergy Platform, Elekta Synergy, Elekta Synergy S, Elekta Axesse, Elekta Infinity, MLCi, MLCi2, Beam Modulator. 2013. 36p.
- 36- Elekta. Integrity R1.1: Instructions for Use – Service Mode. Jul/2011. 70 p.
- 37- Elekta. Integrity R1.2: Instructions for Use- Service Mode. Nov/2013. 90 p.
- 38- Elekta. Power supply and interlocks subsystems. Out/2011. 50 p.