

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde

**Comissionamento da técnica de irradiação de toda pele com elétrons e
elaboração de um procedimento operacional padrão**

Versão original

ANDERSON MARIANO

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de Mestre
Profissional em Tecnologia das Radiações
em Ciências da Saúde na Área de
Concentração
Processos de Radiação na Saúde**

**Orientador:
Prof. Dr. Orlando Rodrigues Junior**

**São Paulo
2024**

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde

**Comissionamento da técnica de irradiação de toda pele com elétrons e
elaboração de um procedimento operacional padrão**

Versão original

ANDERSON MARIANO

**Dissertação apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de Mestre
Profissional em Tecnologia das Radiações
em Ciências da Saúde na Área de
Concentração
Processos de Radiação na Saúde**

**Orientador:
Prof. Dr. Orlando Rodrigues Junior**

**São Paulo
2024**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Como citar:

MARIANO, A. **Comissionamento da técnica de Irradiação de Toda Pele com Elétrons e elaboração de um procedimento operacional padrão**. 2024. 72 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN, São Paulo. Disponível em: <<http://repositorio.ipen.br/>> (data de consulta no formato: dd/mm/aaaa)

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de geração automática da Biblioteca IPEN,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Mariano, Anderson

Comissionamento da técnica de Irradiação de Toda Pele com Elétrons e elaboração de um procedimento operacional padrão / Anderson Mariano; orientador Orlando Rodrigues Junior. -- São Paulo, 2024.

72 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde (Processos de Radiação na Saúde) -- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2024.

1. Radioterapia. 2. Linfoma de células T. 3. Irradiação de toda pele com elétrons. 4. FMEA. 5. Filmes radiocrômicos. I. Rodrigues Junior, Orlando, orient. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Anderson Mariano

Título: Comissionamento da técnica de Irradiação de Toda Pele com Elétrons e elaboração de um procedimento operacional padrão.

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, para obtenção do título de Mestre em Ciências da Saúde.

Data: 06 de agosto de 2024

Banca Examinadora

Prof. Dr. Orlando Rodrigues Junior
Instituto de Pesquisas Energéticas e
Nucleares
(Orientador)

Prof. Dr. Roberto Sakuraba
Hospital Israelita Albert Einstein

Prof. Dr. Eduardo Weltman
Faculdade de Medicina da Universidade de
São Paulo, Instituto de Radiologia

Dedico este trabalho à minha esposa,
Renata. Sem sua paciência, ajuda e incen-
tivo, ele não teria sido concluído.

Agradecimentos

Desejo manifestar minha mais sincera e profunda gratidão ao Prof. Dr. Orlando Rodrigues Júnior, meu orientador, cuja orientação sábia, apoio incondicional e paciência incomensurável foram pilares fundamentais na realização deste trabalho; ao Prof. Dr. Roberto Sakuraba, cujas discussões esclarecedoras, apoio contínuo e incentivo inestimável foram cruciais para a conclusão desta jornada acadêmica; ao IPEN, pela grandiosa oportunidade de realizar este estudo, e aos ilustres professores do programa de mestrado profissional, cujo compartilhamento de conhecimento se destacou por um profissionalismo e dedicação exemplares; ao Hospital Israelita Albert Einstein, cuja generosidade e encorajamento foram de grande valor, e a toda equipe de seu departamento de radioterapia, cujas trocas enriquecedoras de experiências foram determinantes para meu crescimento tanto profissional quanto pessoal.

Resumo

MARIANO, A. *Comissionamento da técnica de Irradiação de Toda Pele com Elétrons e elaboração de um procedimento operacional padrão*. 2024. 72f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia das Radiações em Ciências da Saúde), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN, São Paulo.

A técnica de Radioterapia para Irradiação de Toda Pele com Elétrons (ITPE) é uma modalidade de tratamento para Linfoma cutâneo de células T, principalmente quando se apresentam com grandes placas tumorais ou quando outras terapias não são efetivas. O objetivo é irradiar a pele toda com feixes extensos capazes de envolver o paciente inteiro, entregando uma dose homogênea a uma pequena profundidade e limitando a dose em órgãos de risco, sendo elétrons 4 MeV escolhidos como o feixe preferido devido seu alcance mais curto.

Nesse trabalho implementamos o uso da técnica de Irradiação de Toda Pele com Elétrons em uma nova sala de tratamento, onde está instalado um acelerador linear Versa HD (Elekta, Stockholm). Dados dosimétricos foram obtidos por meio de medidas experimentais, incluindo medidas com câmara de ionização em água, e medidas com filmes radiocrômicos em fantasmas de placas de água sólida e antropomórfico, em condições de tratamento. O ângulo ideal de $\pm 18^\circ$ da horizontal foi encontrado para os campos duais, e uma análise de uniformidade no plano de tratamento mostrou desvios de $\pm 7\%$ no eixo vertical e $\pm 4\%$ no eixo horizontal. A contribuição de raios X no feixe de elétrons foi estimada entre 0,5-1,8%. Valores de energia e penetração dos feixes degradados pela placa de acrílico ficaram dentro do esperado e a relação de dose na pele do paciente por unidade monitora do acelerador foi de $1,868(\pm 0,046)$ cGy/UM. Valores de referência, como estabilidade, linearidade de dose, simetria e planura do feixe foram levantados servirão como linhas de base para testes de garantia de qualidade.

A metodologia utilizada no comissionamento foi descrita em detalhes, visando contribuir com a difusão da técnica em outros centros. Um Procedimento Operacional Padrão (POP) descrevendo a rotina de tratamento do paciente foi elaborado, detalhando e adaptando os processos atualmente em vigor no acelerador linear 23EX (Varian Medical System, Palo Alto, CA) as características do novo equipamento.

Uma análise preliminar de risco utilizando a metodologia FMEA foi realizada e que servirá de base para futuras revisões e melhorias do procedimento operacional.

Palavras-chave: Radioterapia, Linfoma de células T, Irradiação de toda pele com elétrons, ITPE, FMEA, Filmes radiocrômicos,

Abstract

MARIANO, A. *Commissioning of the Total Skin Electron Irradiation technique and development of a standard operating procedure*. 2024. 72p. Dissertation (Professional Master's in Radiation Technology in Health Sciences), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN, São Paulo.

The technique of Total Skin Electron Irradiation (TSEI) is a treatment modality for cutaneous T-cell lymphoma, especially when presenting with large tumor plaques or when other therapies are not effective. The objective is to irradiate the entire skin with large beams capable of encompassing the entire patient, delivering a homogeneous dose at a shallow depth and limiting the dose to organs at risk, with 4 MeV electrons chosen as the preferred beam due to their shorter range.

In this work, we implemented the use of Total Skin Electron Irradiation in a new treatment room, where a Versa HD linear accelerator (Elekta, Stockholm) is installed. Dosimetric data were obtained through experimental measurements, including measurements with an ionization chamber in water and measurements with radiochromic films in solid water and anthropomorphic phantoms, performed under treatment conditions. The ideal angle of $\pm 18^\circ$ from horizontal was found for dual fields, and an analysis of uniformity in the treatment plane showed deviations of $\pm 7\%$ in the vertical axis and $\pm 4\%$ in the horizontal axis. The contribution of X-rays in the electron beam was estimated between 0.5-1.8%. Energy and penetration values of the degraded beams through the acrylic plate were within expected limits, and the dose ratio in patient skin per monitor unit of the accelerator was 1.868 (± 0.046) cGy/MU. Reference values such as stability, dose linearity, beam symmetry, and flatness were established to serve as baseline for quality assurance tests.

The methodology used in commissioning was detailed to contribute to the diffusion of the technique in other centers. A Standard Operating Procedure (SOP) describing the patient treatment routine was developed, detailing and adapting the processes currently in place at the 23EX linear accelerator (Varian Medical System, Palo Alto, CA) to the characteristics of the new equipment.

A preliminary risk analysis using the FMEA methodology was conducted and will serve as a basis for future revisions and improvements of the operating procedure.

Keywords: Radiotherapy. T-cell lymphoma. Total Skin Electron Irradiation. TSEI. FMEA. Radiochromic films.

Lista de figuras

Figura 1	– a) Descrição do campo dual; b) Descrição das 6 posições diferentes do paciente; c) Regime de tratamento do arranjo dos 6 campos, onde os campos 1, 2 e 3 são tratados no primeiro dia, e os campos 4, 5 e 6 são tratados no segundo dia.	4
Figura 2	– (a) Planta da sala de tratamento mostrando a distância da fonte ao degradador, e a pele do paciente; (b) Modelo da plataforma de suporte do paciente e placa degradadora.	10
Figura 3	– Ilustração das geometrias de irradiação: (a) Geometria de referência; (b) Feixe Único Horizontal; (c) Feixe Dual; e (d) Seis Feixes duais incidentes com intervalo de cada 60°. Desenhos não estão em escala. . .	11
Figura 4	– Croqui ilustrando os pontos padronizados para realização da dosimetria in vivo.	13
Figura 5	– (a) Placa degradadora do feixe, apoiada por suporte temporário em madeira; (b) Placa auxiliar de acrílico; utilizada como suporte para filmes e dosímetros no plano de tratamento.	15
Figura 6	– Curva de calibração de dose por Intensidade da imagem, ajustada no ImageJ usando a função “ <i>Roadbard(NIH Image)</i> ”.	16
Figura 7	– (a) Simetria e planura do feixe no isocentro do acelerador; (b) Porcentagem de dose profunda.	18
Figura 8	– (a) Arranjo de filmes utilizados na medida; (b) Distribuição de dose. .	19
Figura 9	– Avaliação de uniformidade de dose no plano de tratamento; (a) Média dos perfis do eixo horizontal; (b) Média dos perfis do eixos vertical. . .	20
Figura 10	– a) Configuração utilizada nas medidas de PDP e na determinação da relação de dose/UM nas geometrias B e C; b) Nivelamento do fantoma de água sólida; c) Posicionamento a distância de 30cm da placa degradadora.	22
Figura 11	– a) Curva de Porcentagem de dose profunda da Geometria A, ajustada aos pontos para determinação de parâmetros relevantes, como profundidade de dose máxima e da curva de 80% e 50% da dose; b) Curva de Porcentagem de dose profunda da Geometria B.	23
Figura 12	– (a) Fantoma antropomórfico utilizado nas medidas da geometria D; (b) Tiras de filmes foram posicionados no plano axial do fantoma, paralelas a cada uma das seis incidências.	25
Figura 13	– (a) Média das curvas de porcentagem e dose profunda obtidas em cada incidência; (b) Relação de dose por UM, medido pelos filmes colados na superfície do fantoma na posição do umbigo, a altura do isocentro. .	26

Figura 14 – Mapeamento do processo de análise de risco para ITPE dividido em 5 etapas principais (em azul), descrevendo em cada linha os passos relacionados a cada etapa. 29

Lista de tabelas

Tabela 1 – Valores de referência extraídos da literatura para comparação dos resultados da dosimetria individual.	13
Tabela 2 – Resumo dos resultados do comissionamento.	27
Tabela 3 – Matriz de classificação dos modos de falha em relação à Ocorrência (O), Severidade (S) e Detectabilidade (D).	29
Tabela 4 – Estimativa inicial dos valores de severidade (S), ocorrência (O) e detectabilidade (D) para cada etapa do processo e tarefas correspondentes. O valor de RPN (risk priority number) pode ser visto na última coluna.b	31

Lista de abreviaturas e siglas

ITPE	Irradiação de Toda Pele com Elétrons
TSEI	Total Skin Elektron Irradiation
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
UM	Unidade Monitora
MV	Mega Voltagem
MeV	Milhões de eletronsvolts
HDRE	High Dose Rate Electron
POP	Procedimento Operacional Padrão
MF	Micose Fungoide
SS	Síndrome de Sézary
DFS	Distância Fonte Superfície
PDP	Porcentagem de Dose em Profundidade
R80	Alcance da curva de 80% da dose (do inglês <i>range</i> 80%).
R50	Alcance da curva de 50% da dose (do inglês <i>range</i> 50%)
Rp	Alcance prático (do inglês <i>practical range</i>), se refere a profundidade encontrada extrapolando a parte linear da curva de dose profunda até onde ela se encontra com a curva de contaminação com raios X de freamento (<i>bremstrahlung</i>)
dmax	Profundidade de dose máxima da curva de dose profunda.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	O Linfoma cutâneo de Células T	1
1.2	Técnicas de ITPE descritas na literatura	2
1.3	Prescrição da dose e toxicidade esperada	4
1.3.1	Prescrição de dose	4
1.3.2	Toxicidade esperada	5
2	OBJETIVOS	6
2.1	Objetivo geral	6
2.2	Objetivos específicos	6
3	MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1	Equipamentos e acessórios utilizados nas irradiações	7
3.2	Protocolo de dosimetria com filmes radiocrômicos	8
3.3	Dimensões da sala e definição da distância de tratamento	9
3.4	Metodologia para caracterização do feixe de elétrons	9
3.5	Valores de referência para dosimetria individual e prescrição do reforço de dose.	11
3.6	Metodologia para a avaliação de risco	13
4	RESULTADOS	15
4.1	Confecção do suporte temporário das placas de acrílico	15
4.2	Curva de calibração filmes radiocrômicos	15
4.3	Medidas nas condições de referência	17
4.4	Determinação do ângulo do gantry e planura do feixe dual	17
4.5	Contribuição de raios X no feixe de elétrons	21
4.6	Medidas fora das condições de referência	21
4.7	Resumo dos resultados de comissionamento	27
4.8	Controle de qualidade	27
4.9	Elaboração do procedimento operacional padrão	28
4.10	Análise preliminar de risco	28
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33

APÊNDICES	37
APÊNDICE A – PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO — IRRADIAÇÃO DE TODA PELE COM ELÉTRONS (ITPE)	38
APÊNDICE B – MODELO DE PLANILHA UTILIZADO PARA COLETA DE DADOS FMEA	49

1 Introdução

1.1 O Linfoma cutâneo de Células T

O linfoma cutâneo de células T é uma forma rara de linfoma não Hodgkin que se manifesta na pele, causando lesões cutâneas diversas, sendo a Micose Fungoide (MF) e a Síndrome de Sezary (SS) os subtipos mais comuns.

Micose fungoide (MF)

Cerca de metade de todos os linfomas cutâneos são micoses fungoides (MF) e o primeiro sinal dessa doença é o surgimento de uma ou mais lesões avermelhadas, escamosas e em áreas irregulares na pele. As lesões de MF podem ser muito pruriginosas e frequentemente essas lesões são o único sintoma de MF. Porém, em algumas pessoas, a doença pode progredir para tumores sólidos e elevados na pele (chamados placas). Devido à semelhança de MF com outros problemas de pele, o diagnóstico inicial pode ser difícil, e biópsias das lesões podem ser necessárias antes que o diagnóstico seja confirmado. Com o tempo, a MF pode se espalhar pela pele ou invadir linfonodos e órgãos como o fígado. Em muitas pessoas, essa doença cresce lentamente, mas pode ocasionalmente se desenvolver mais rapidamente, especialmente em idosos. Algumas pessoas com MF desenvolvem posteriormente a síndrome de Sézary (GIORDANO; PAGANO, 2022).

Síndrome de Sézary (SS)

Frequentemente considerada uma forma avançada de micose fungoide, a SS, na verdade, é uma doença diferente. Na SS, a maioria ou toda a pele é afetada, ao invés de apenas áreas específicas. Pessoas com SS geralmente apresentam uma erupção cutânea vermelha e escamosa muito pruriginosa que pode se assemelhar a uma queimadura solar severa. Isso é chamado de eritroderma generalizado. A pele fica frequentemente espessada. Células linfomatosas, chamadas células de Sézary, podem ser encontradas no sangue (além dos linfonodos). Enquanto a MF geralmente cresce lentamente, a SS tende a se desenvolver e se espalhar mais rapidamente, sendo mais difícil de tratar. Pessoas com SS também frequentemente têm sistemas imunológicos mais enfraquecidos, aumentando o risco de infecções graves (GIORDANO; PAGANO, 2022).

A incidência é maior em indivíduos com idade superior a 40 anos. Estudos mostraram que os homens têm uma prevalência maior em relação às mulheres, com uma relação de 1,6:1 (AGAR et al., 2010), sendo a incidência anual estimada em 0,5 por 100.000 habitantes (BAGHERANI; SMOLLER, 2016). O tratamento do linfoma cutâneo de células

T é complexo e a escolha da terapia depende do estágio da doença, das características do paciente e de outros fatores individuais. As opções terapêuticas incluem quimioterapia, radioterapia, fototerapia, terapia-alvo e imunoterapia (WILLEMZE et al., 2018).

A terapia de radioterapia externa conhecida como Irradiação de Toda a Pele com Elétrons (ITPE) (*Total Skin Electron Irradiation - TSEI*) emerge como uma abordagem eficaz no tratamento do linfoma cutâneo de células T. Utilizando elétrons de 4 MeV, essa técnica irradia uniformemente toda a superfície cutânea do paciente, proporcionando uma distribuição homogênea da radiação. A ITPE pode ser empregada tanto como terapia primária quanto combinada com outras técnicas terapêuticas, adaptando-se às características individuais e ao estágio da doença de cada paciente (LATZKA et al., 2023).

A principal vantagem desta abordagem reside na sua capacidade de tratar de maneira homogênea todas as áreas afetadas pelo linfoma cutâneo de células T, minimizando o risco de toxicidade em órgãos internos (LATZKA et al., 2023).

1.2 Técnicas de ITPE descritas na literatura

Diversas técnicas de ITPE foram propostas na literatura visando acomodar condições específicas, como tamanho da sala e condição geral do paciente, podendo ser divididas nas seguintes categorias:

1. Técnicas com campos grandes estáticos
2. Técnicas com campos grandes rotacionais
3. Técnicas translacionais, permitindo o tratamento do paciente em posição reclinada

Nas técnicas com campos grandes estáticos, feixes de radiação que cobrem toda a superfície do paciente são gerados por meio de estratégias específicas. Uma delas utiliza distâncias de tratamento estendidas, de aproximadamente 7 metros, ampliando o tamanho do feixe de elétrons devido à sua divergência. Outra abordagem envolve a combinação de dois campos, formando os chamados campos duais, viabilizando o tratamento com distâncias de tratamento entre 3 e 4 metros. Para atingir a uniformidade de dose desejada, o paciente é normalmente irradiado em seis posições diferentes (KARZMARK et al., 1987).

Variantes rotacionais dessas técnicas introduzem uma plataforma motorizada rotatória onde o paciente é posicionado. Durante a aplicação do feixe, a plataforma gira continuamente, permitindo uma distribuição contínua da radiação na pele.

Existem duas principais variações das técnicas rotacionais. As técnicas clássicas utilizam distâncias de tratamento estendidas (7 m) ou filtros espalhadores para modificar o feixe de elétrons, dispersando a radiação e ampliando a área de tratamento (PODGORSAK et al., ; REYNARD et al.,). Já as técnicas rotativas-duplas empregam campos duais

com o paciente em rotação para cobrir a área desejada (PIOTROWSKI; MALICKI, 2006; HENSLEY et al., 2014).

Ambos os tipos de técnicas de campos grandes, estáticas e rotacionais, presumem que o paciente esteja em pé durante a irradiação. Contudo, para pacientes debilitados por doenças ou com perda de membros, essa abordagem frequentemente se mostra inalcançável. Um terceiro grupo de técnicas de ITPE visa tratar o paciente na posição reclinada, movendo-o entre os feixes.

Por exemplo, Gerbi et al. (1989) descrevem uma técnica que permite ao paciente permanecer deitado, sem comprometer a uniformidade da dose, utilizando dois feixes de elétrons simétricos com um arco de $+48^\circ$ para proporcionar uma uniformidade de campo de $+5\%$ ao longo de uma área de 250 cm x 45 cm. Em outro exemplo, Kron et al. (2018) apresentam um método para administrar ITPE em crianças pequenas que necessitam de anestesia durante o tratamento, utilizando uma mesa de tratamento personalizada em um acelerador linear convencional.

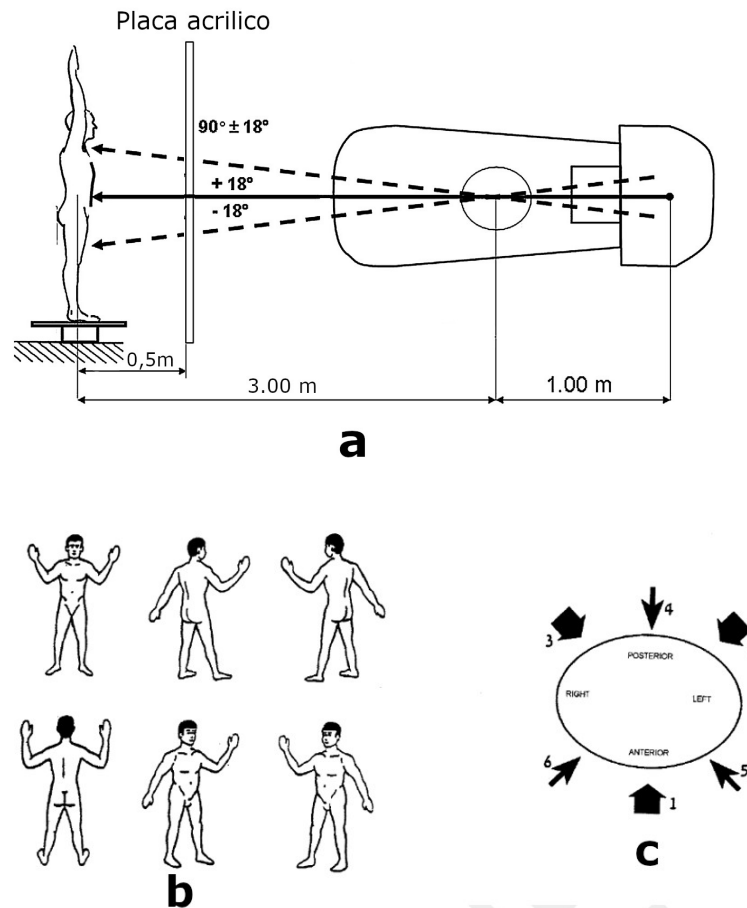
Neste trabalho, foi implementada uma técnica que utiliza seis feixes duais, conhecida na literatura como técnica da “bailarina” ou técnica de Stanford (KARZMARK et al., 1987), onde o paciente é irradiado em pé, próximo à parede da sala, com o gantry do acelerador virado para sua direção. Foram utilizados feixes compostos por dois campos com uma variação de ± 18 graus na rotação do gantry do acelerador. Essa composição permite obter um campo no plano do paciente de aproximadamente 200 cm de altura por 80 cm de largura, grande o bastante para cobrir todo o corpo do paciente em pé. Na figura 1a é apresentado o diagrama da técnica de irradiação de toda pele com elétrons.

A uniformidade da dose em toda a pele do paciente é alcançada ao colocar o paciente em um suporte que o permite girar e receber o feixe dual extenso em seis posições estáticas distintas, conforme ilustrado na figura 1b. As seis posições são irradiadas em um ciclo de dois dias, no primeiro dia se irradia as posições anterior, posterior esquerda e posterior direita, no segundo dia as posições posterior, anterior direita e anterior esquerda, como ilustrado na figura 1.

Devido à extensão dos feixes e às longas distâncias de tratamento, os softwares convencionais de planejamento de tratamento não cobrem adequadamente a ITPE, exigindo comissionamento e controle de qualidade independente.

A ITPE destaca-se como uma das mais eficazes estratégias para o tratamento de linfomas cutâneos de células T, podendo ser implementada em qualquer fase do tratamento (ELSAYAD et al., 2017). Contudo, sua aplicação é limitada pela escassa disponibilidade de centros especializados que oferecem esse tipo de tratamento. A complexidade na implementação, baixa incidência da doença e os longos tempos de tratamento, aliado a baixa remuneração pelas fontes pagadoras, desestimulam a adoção generalizada da técnica e contribui para sua relativa falta de difusão no Brasil.

Figura 1 – a) Descrição do campo dual; b) Descrição das 6 posições diferentes do paciente; c) Regime de tratamento do arranjo dos 6 campos, onde os campos 1, 2 e 3 são tratados no primeiro dia, e os campos 4, 5 e 6 são tratados no segundo dia.



Fonte: Adaptado de (KARZMARK et al., 1987).

1.3 Prescrição da dose e toxicidade esperada

1.3.1 Prescrição de dose

Uma dose total entre 30 e 36 Gy, entregue ao longo de 8-10 semanas, é o regime mais comum de tratamento (LATZKA et al., 2023). Nos últimos anos, doses baixas de ITPE da ordem de 10-13 Gy, vem ganhando espaço, apresentando baixa toxicidade e possibilitando a repetição o tratamento um número maior de vezes do que o regime de alta dose (ZHAO; SONG, 2017). Para doses acima de 30 Gy, mais do que 80% dos pacientes atingem resposta completa e alívio dos sintomas severos (MAZZEO et al., 2013).

Reforços complementares de dose podem ser necessários em regiões sub dosadas, como vértice do escalpo, axilas, palma da mão, solas dos pés, períneo, área abaixo das mamas, entre outros. Esse reforço é normalmente entregue com feixes convencionais de elétrons no acelerador linear após o termino do tratamento de ITPE.

O volume alvo inclui a epiderme e a derme, com a curva de 50% da dose devendo atingir uma profundidade entre 5 mm a 15 mm deveria (KARZMARK et al., 1987). A profundidade recebendo 20% da dose não deve ultrapassar 20 mm e a contribuição de dose por raios X ao nível da medula óssea deve ser menor do que 0,7 Gy para o tratamento todo para evitar seqüela hematológica (MAZZEO et al., 2013).

O globo ocular não deve receber mais do que 15% da dose prescrita na superfície da pele. Uma blindagem sub palpebral deve ser utilizada para garantir que pelo menos 26 Gy é entregue na pálpebra, enquanto protegendo o globo ocular. A colocação de blindagens sobre marcapassos ou locais com ostomia devem ser avaliadas com cuidado para não comprometerem a eficácia do tratamento.

Deve-se utilizar uma blindagem sub-pálpebral para garantir que pelo menos 80% da dose prescrita seja entregue à pálpebra, enquanto se protege o globo ocular, que não deve receber mais do que 15% da dose. A aplicação de blindagens sobre marcapassos ou áreas com ostomia deve ser cuidadosamente avaliada para não comprometer a eficácia do tratamento.

1.3.2 Toxicidade esperada

Pacientes que passam por tratamento de ITPE não costumam apresentar efeitos agudos e tardios muito sérios (JONES et al., 2002; WILSON, 2003), e pacientes em bom estado geral podem continuar suas atividades diárias normalmente.

Com dose entre 30-36 Gy os pacientes podem experimentar alguns efeitos colaterais temporários: fadiga é comum, mas geralmente não é severa ou debilitante. A pele pode apresentar eritema, e dermatite leve ou moderada pode se desenvolver. Alopecia completa, mas temporária do escalpo costuma acontecer depois de duas semanas do tratamento e estase temporária nas unhas ocorrem na maioria dos pacientes (MAZZEO et al., 2013).

O cabelo volta a crescer, mas a cor e textura pode ser diferentes. As unhas se tornam quebradiças e metade dos pacientes desenvolve edema nas mãos e pés. Aproximadamente 10% dos pacientes apresentam pequenos sangramentos nasais (MAZZEO et al., 2013).

Outros efeitos menos frequentes são: bolhas nos dedos e pés (<5%); redução na produção de suor, parotidite leve e ginecomastia em homens (<3% cada); conjuntivite de contato devido à blindagem ocular (<1%); distrofia das unhas, xerose cutânea, alopecia parcial e permanente do escalpo, disestesia nos dedos que persistem por mais do que um ano (<1% cada), e infertilidade é possível em homens (MAZZEO et al., 2013).

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é a implantação da técnica de ITPE em uma nova sala de tratamento de dimensões reduzidas, com a realização de medidas de comissionamento e estabelecimento de um programa de garantia da qualidade.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse estudo são:

- Elaboração de um procedimento operacional padrão (POP) descrevendo a rotina de tratamento do paciente, detalhando e adaptando os processos atualmente em vigor no acelerador linear Varian 23EX para o acelerador linear Elekta Versa HD.
- Descrever em detalhes a metodologia para realização das medidas de comissionamento, priorizando o uso de detectores disponíveis na maioria dos serviços de radioterapia, como fantasmas de placas de água sólida e filmes radiocrômicos.
- A elaboração de uma análise preliminar de risco (FMEA), que servirá de base para futuras revisões do procedimento operacional padrão.

3 Material e Métodos

Para a implantação da técnica de irradiação de toda pele com feixe de elétrons foram consideradas as características da sala de tratamento e do acelerador linear utilizado, os dispositivos de modificação do feixe e os acessórios de posicionamento do paciente.

As medidas de comissionamento priorizaram o uso de detectores já disponíveis na maioria dos serviços de radioterapia, como fantasmas de placas de água sólida e filmes radiocrômicos.

3.1 Equipamentos e acessórios utilizados nas irradiações

Um acelerador Linear (LINAC) Versa HD (Elekta, Stockholm) foi utilizado durante o trabalho. Esse equipamento tem um modo especial de alta taxa de elétrons chamado de HDRE (do inglês High Dose Rate Electron) que emite elétrons com energia nominal de 6 MeV, calibrado para entregar uma taxa de dose de 30 Gy/min na profundidade máxima da curva de Porcentagem de Dose em Profundidade (PDP) a uma Distância da Fonte a Superfície (DFS) de 100 cm.

Durante a irradiação é necessário conectar um aplicador especial para habilitar o modo de alta taxa de dose, que consistem em uma bandeja com moldura aberta, permitindo entregar um feixe de elétrons de 40×40 cm² no isocentro do equipamento. Essa bandeja, juntamente com um módulo de chave de ativação do modo HDRE, servem como mecanismos de segurança, impedindo que o modo de alta taxa seja utilizado por engano.

Uma placa de acrílico com dimensões de 120 cm x 230 cm e 1 cm de espessura foi utilizada como degradador do feixe. Uma placa de acrílico adicional de 200 cm x 100 cm x 0,6 cm foi utilizada para sustentar os detectores nas medidas de simetria e planura no plano de tratamento.

Uma câmara de placas paralelas PPC40 (IBA, Louvain-La-Neuve, Bélgica) adequada para dosimetria de absoluta de feixes de elétrons, conectada a um eletrômetro Dose 2 (IBA, Louvain-La-Neuve, Belgium) foi utilizada para calibração absoluta de dose do feixe em condições de referências seguindo o protocolo de dosimetria absoluta na água TRS-398 (IAEA, 2001).

Uma matriz de detectores IC Profiler (Sun Nuclear, Melbourne, USA) foi utilizado nas medidas de perfil, simetria e planura do feixe.

Um equipamento de dosimetria diária DailyQA (Sun Nuclear, Melbourne, USA) foi utilizado para criação das linhas de base e aferição diária da dose do feixe de 6 MeV HDRE.

Um objeto simulador antropomórfico modelo Rando Phantom (Alderson Research Laboratories, Stanford, EUA) foi utilizado em medidas de comissionamento, simulando as condições de irradiação do paciente.

Um fantoma de placas de água sólida modelo Virtual Water (Standard Imaging, Middleton, USA) foi utilizado nas medidas com filmes radiocrômicos.

Nas medidas fora da condição de referência, foram utilizados filmes radiocrômicos da marca GafChromic EBT-3 (Ashyland, Bridgewater, EUA). Para o processamento e análise das imagens utilizamos o software domínio público ImageJ (N.I.H., 2023). Os filmes foram escaneados usando um escâner Epson Expression 10000 XL (Seiko Epson Corporation, Nagano, Japão).

3.2 Protocolo de dosimetria com filmes radiocrômicos

Para análise e processamento dos filmes seguimos protocolo sugerido por (HOWARD et al., 2020), usando um escâner Epson Expression 10000 XL (Seiko Epson Corporation, Nagano, Japão), extraíndo as imagens de transmissão e utilizando apenas o canal vermelho. O escâner foi configurado com os seguintes parâmetros: *Modo Profissional*; Tipo de documento: *Película*; Tipo de Película: *Película positiva*; *Cor 48 bits*; *Resolução 72 dpi*; Configurações: *Sem correção de cores*.

Os seguintes cuidados, recomendados pelo fabricante do filme, foram protocolados e seguidos durante a manipulação e processamento:

1. Um intervalo constante de tempo de 24 horas foi estabelecido entre a irradiação e a leitura dos filmes.
2. Os filmes foram manipulados sempre com luvas, para evitar que fossem marcados com impressões digitais.
3. Os filmes foram marcados antes de serem cortados em pedaços menores, de forma que garantisse a mesma direção de escaneamento durante o processamento, com a luz passando na direção mais longa da folha de filme.
4. Caso o escâner não tenha sido utilizado na última hora, utilizaremos 5 vezes a função “visualizar” para aquecer e garantir uma temperatura de cor estável da fonte de luz.
5. Durante o escaneamento, os filmes são enfileirados no centro do escâner, ao longo do seu eixo maior, garantindo que as regiões irradiadas de cada pedaço de filme fiquem preferencialmente alinhadas e expostas a mesma parte da fonte de luz do escâner.

3.3 Dimensões da sala e definição da distância de tratamento

Para o tratamento de ITPE é recomendável utilizar a maior distância entre a fonte e o paciente permitida pelo tamanho da sala, almejando melhorar a uniformidade do campo no plano de tratamento. A figura 2a mostra a planta da sala onde está instalado o acelerador Elekta Versa HD, e a distância da parede a fonte é de 385 cm. A distância da fonte a superfície do paciente será um pouco menor, visto que o paciente precisa de um espaço entre ele e a parede para se posicionar com conforto. A distância da fonte a superfície do paciente (DFS) escolhida para realizar o comissionamento foi de 340 cm, e faremos as medidas com a placa degradadora do feixe a 30 cm da pele do paciente, a uma distância a partir da fonte de 310 cm. A altura do isocentro do acelerador ao chão é de 125 cm.

As distâncias são menores do que as utilizadas atualmente no acelerador linear Varian 23EX, em que o paciente é posicionado a 4 metros da fonte, e está abaixo do limite inferior descrito na publicação (KARZMARK et al., 1987), que menciona medidas de 3,5 a 7 metros, o que pode prejudicar a uniformidade do feixe no plano do paciente, exigindo uma avaliação minuciosa dessa característica.

Os acessórios especiais necessários para posicionar o paciente na nova sala e a placa degradadora utilizaram como modelo os já empregados na sala do acelerador Varian 23EX, que podem ser vistos na figura 2b. São compostos por uma plataforma circular com um enquadramento de madeira (para auxiliar o paciente a manter as posições durante o tratamento) e uma moldura metálica para sustentar a placa degradadora na posição, ambos movidos por rodízios.

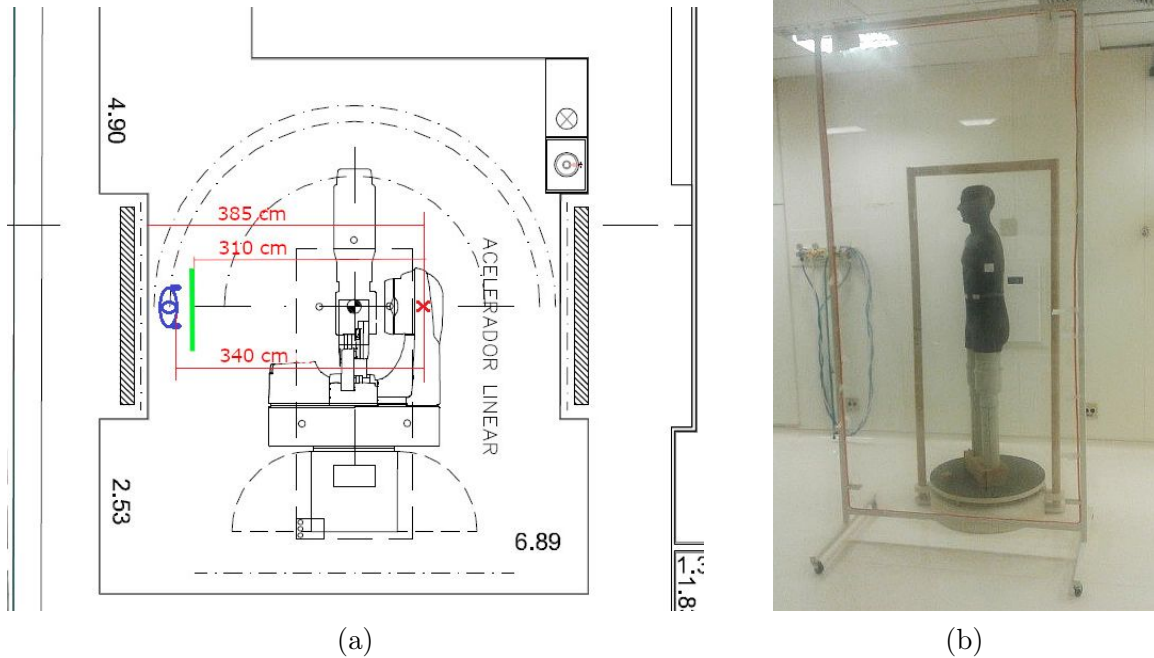
3.4 Metodologia para caracterização do feixe de elétrons

Nesse trabalho implementamos uma técnica conhecida como técnica da “bailarina”, onde o paciente é irradiado por um feixe extenso de elétrons, enquanto fica em pé, próximo à parede da sala, em seis posições diferentes. Para conseguir feixes de elétrons de intensidade uniforme e grandes o suficiente para cobrir um adulto em pé, devemos escolher a maior distância entre o paciente e o feixe que a sala de tratamento permitir.

A metodologia utilizada no comissionamento, baseada no documento AAPM Report 23 (KARZMARK et al., 1987), caracteriza individualmente o impacto dos elementos modificadores: distância, efeito da placa degradadora e composição de múltiplos feixes, permitindo a comparação dos resultados com os obtidos por outros autores e publicados na literatura.

Como a menor energia disponível no modo de alta taxa de dose do acelerador linear Versa HD é de 6 MeV, maior do que a energia recomendada de 4 MeV, uma placa

Figura 2 – (a) Planta da sala de tratamento mostrando a distância da fonte ao degradador, e a pele do paciente; (b) Modelo da plataforma de suporte do paciente e placa degradadora.



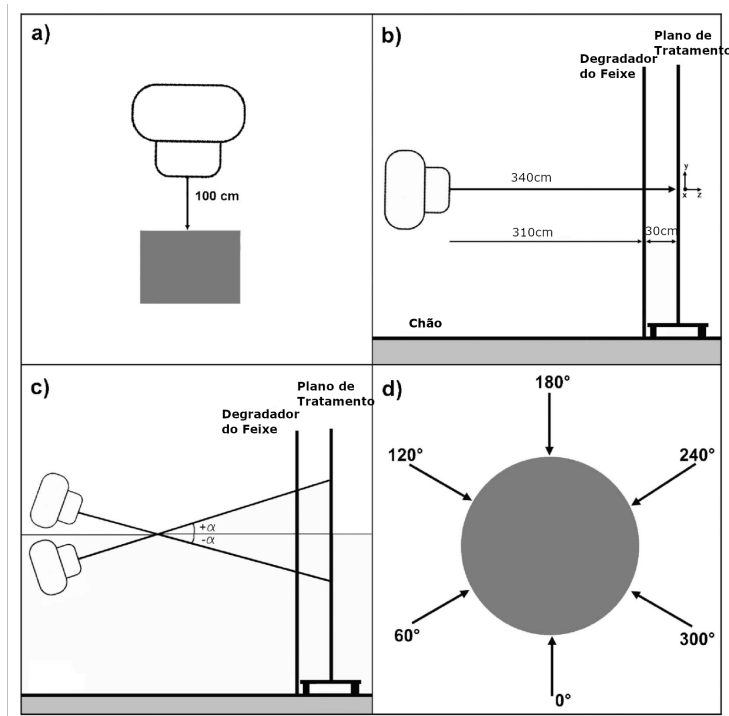
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

de acrílico de 10 mm foi posicionada entre o paciente e o acelerador para degradar a energia do feixe.

Foram realizados ensaios para caracterização do feixe em 4 geometrias (figura 3):

- A:** *Geometria de referência:* Gantry posicionado em 0° , com distância fonte a superfície de 100 cm;
- B:** *Feixe Único Horizontal:* Gantry posicionado a 270° , com distância da fonte a superfície do fantom de 340 cm e com degradador do feixe posicionado a 30 cm da pele do paciente, a uma distância a partir da fonte de 310 cm;
- C:** *Feixe Dual:* Dois feixes angulados acima e abaixo da linha horizontal, com distância da fonte a superfície do fantom de 340 cm e com degradador do feixe posicionado a 30 cm da pele do paciente, a uma distância a partir da fonte de 310 cm;
- D:** *Seis Feixes Duais:* Soma de todos os seis feixes duais utilizados, um a cada 60° com relação à plataforma do paciente, com distância da fonte a superfície do fantom de 340 cm e com degradador do feixe posicionado a 30 cm da pele do paciente, a uma distância a partir da fonte de 310 cm;

Figura 3 – Ilustração das geometrias de irradiação: (a) Geometria de referência; (b) Feixe Único Horizontal; (c) Feixe Dual; e (d) Seis Feixes duais incidentes com intervalo de cada 60° . Desenhos não estão em escala.



Fonte: Adaptado de (SCHIAPPARELLI et al., 2010).

Essa caracterização inclui o levantamento da curva de porcentagem de dose profunda, energia média do feixe, energia provável na entrada do fantoma, uniformidade e relação de dose por unidade monitora.

O sistema de coordenadas no plano de tratamento tem a origem localizada na altura do isocentro do feixe único horizontal a uma DFS = 340 cm e a altura de 125 cm do chão. Os eixos x e y ficam no plano de tratamento, e o eixo z é normal ao plano. Como mostrado na figura 3b, eixo y é na vertical.

3.5 Valores de referência para dosimetria individual e prescrição do reforço de dose.

A dosimetria individual, ou dosimetria “in vivo”, consiste em uma medição de dose recebida na pele do paciente em uma ou mais frações do tratamento, e é um procedimento de rotina em muitas instituições que executam a irradiação de toda pele com elétrons. Ela é realizada com os seguintes objetivos:

- (a) Confirmar que a distribuição de dose recebida pelo paciente na sua prática é comparável a obtida em outros centros.

- (b) Confirmar que a calibração do feixe e das Unidades Monitoras (UM) estão corretas.
- (c) Levantar dados para guiar decisões clínicas em relação a uso de blindagens em partes do corpo do paciente que receberam excesso de dose, ou na prescrição de reforços de dose em regiões com menor dose.
- (d) Em caso de desvios nas leituras individuais de dose, auxiliar na investigação da causa.

A ampla variação na distribuição da dose na superfície do paciente é bem documentada na literatura (ANTOLAK et al., 1998; GUIDI et al., 2014; ELSAYAD et al., 2018), destacando diversas regiões com subdoses significativas, como o vértice do escalpo, axilas, palmas das mãos, solas dos pés, períneo, área abaixo das mamas, entre outras. Tais disparidades têm o potencial de influenciar negativamente na eficácia do tratamento, podendo contribuir para a recidiva da doença se não forem adequadamente gerenciadas.

O Hospital Israelita Albert Einstein utiliza atualmente dosímetros do tipo OSL (*Optically Stimulated Luminescence*) para realização da dosimetria individual, cujas características foram bem descritas na literatura para esse fim (ALMEIDA et al., 2018).

A seleção dos pontos de medida pode variar entre os pacientes, especialmente quando há incertezas na entrega da dose em pontos específicos devido a características anatômicas individuais. Com base em nossa experiência clínica, é recomendado que pelo menos os seguintes pontos sejam medidos para todos os pacientes (ver figura 4): 1) Abdômen, próximo ao umbigo; 2) Axilas; 3) Períneo ou parte interna da coxa; 4) Escalpo; 5) Peito do pé; 6) Costas; 7) Dorso da mão.

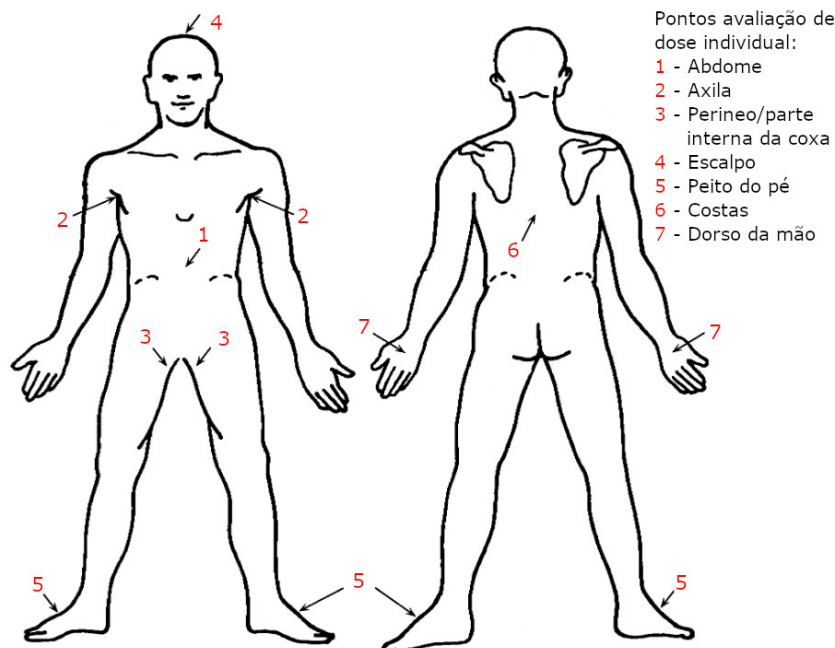
As solas dos pés normalmente não são medidas, e a dose recebida durante a ITPE é considerada negligível.

A tabela 1 mostra valores de dose para esses pontos publicados na literatura (ANTOLAK et al., 1998), que serão utilizados como referência na análise dos resultados.

Regiões subdosadas, como axila, períneo, sola dos pés e couro cabeludo, são tratadas com uma dose adicional de elétrons de 6 MeV. Esse reforço é realizado após a conclusão do tratamento principal e geralmente entregue entre 2 e 5 aplicações. O número de sessões é determinado com base nos resultados da dosimetria in vivo e na avaliação da resposta da pele do paciente. Os volumes a serem irradiados são marcados na pele pelo radioterapeuta.

Áreas super dosadas são bloqueadas quando necessário em resposta a sintomas como sensibilidade, eritema severa ou descamação em áreas como dedos e dorso dos pés. Blindagens feita com folhas de chumbo são empregadas durante a segunda metade do tratamento, por um período determinado pela intensidade das reações e dos resultados da dosimetria individual.

Figura 4 – Croqui ilustrando os pontos padronizados para realização da dosimetria in vivo.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Tabela 1 – Valores de referência extraídos da literatura para comparação dos resultados da dosimetria individual.

Ponto Medida	Dose Média (% da dose prescrita)	Faixa de dose (% da dose prescrita)
Abdomen	100 ± 4	91 – 106
Axilas	60 ± 25	3 – 105
Períneo ou parte interna da coxa	59 ± 23	7 – 93
Escapo (vértex)	87 ± 20	89 – 120
Peito do pé	117 ± 7	102 – 32
Costas	93 ± 7	76 – 105
Dorso da mão	85 ± 6	71 – 97
Entre os dedos da mão (dedo médio)	123 ± 27	63 – 178

Fonte: Extraído de (ANTOLAK et al., 1998).

3.6 Metodologia para a avaliação de risco

O *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) ou análise de modos de falha e seus efeitos, é um método sistemático para identificar e prevenir riscos nos processos antes que eles evoluam para um evento adverso com ou sem dano, se tratando, portanto, de uma avaliação de riscos prospectiva. Segue-se então a elaboração de um novo processo, ou a modificação do processo existente para reduzir a probabilidade daquele risco potencial ocorrer, ou aumentar a probabilidade de que ele seja identificado antes de ter o resultado desejado comprometido.

Diversas variações do FMEA são descritas na literatura, nesse trabalho nos baseamos principalmente na metodologia apresentada na publicação AAPM TG100 (HUQ et al., 2016). Resultados de FMEA para o tratamento de ITPE publicados por outros autores também foram considerados (SHARIFF et al., 2022; MURRER et al., 2021).

A análise de risco é um processo de melhoria contínua e deve ser reavaliado periodicamente, tendo um caráter multidisciplinar. Um primeiro mapeamento do processo, listando suas etapas e modos de falha, bem como uma avaliação inicial de risco, será realizada e organizada em uma planilha, que servirá de ponto de partida em futuras interações do FMEA, envolvendo mais membros da equipe.

4 Resultados

4.1 Confeção do suporte temporário das placas de acrílico

A figura 5 ilustra os acessórios confeccionados no trabalho para serem utilizados durante as medidas de comissionamento. Uma placa de acrílico de 120 cm x 230 cm e 1 cm de espessura (figura 5a) foi utilizada como degradador do feixe e uma placa de acrílico adicional de 200 cm x 100 cm x 0,6 cm (figura 5b) para apoiar os filmes nas medidas de simetria e planura do plano de tratamento. Ambas as placas foram sustentadas por suportes temporários de madeira durante a comissionamento, até que os suportes definitivos (figura 2b) sejam construídos.

Figura 5 – (a) Placa degradadora do feixe, apoiada por suporte temporário em madeira; (b) Placa auxiliar de acrílico; utilizada como suporte para filmes e dosímetros no plano de tratamento.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

4.2 Curva de calibração filmes radiocrômicos

A curva de calibração foi obtida utilizando placas de água sólida posicionadas a uma distância fonte superfície de 100 cm. Pedacos de filmes de 2,5x2,5 cm foram irradiados doses conhecidas variando entre 0 cGy e 1000 cGy. Os filmes foram então processados seguindo o protocolo descrito na seção 3.2.

A energia de fótons de 6MV foi escolhida para calibração dos filmes, que foram posicionados na profundidade de dose máxima de 1,3cm. A escolha de fótons ao invés de elétrons para calibração se deve a menor sensibilidade a erros de posicionamento dos

filmes na profundidade de dose máxima, sendo justificada pelo fato de que a dependência energética dos filmes EBT3 foi reportada na literatura como sendo menor que 1,1% (SIPILä et al., 2016).

Utilizando o software ImageJ, foi realizada a separação do canal vermelho e avaliado o valor médio de escala de cinza para cada filme utilizando um ROI (region of interest) de 75×45 pixels. Esses valores médios, chamados de intensidade I da região da imagem, são então inseridos em um campo próprio no software ImageJ em formato tabular com as doses, em cGy, associadas a cada leitura. A relação entre a intensidade da imagem e dose em cGy pode então ser ajustada a uma das diversas funções disponíveis. A função “*Roadbard(NIH Image)*”, (equação 1), foi escolhida e seu ajuste aos dados medidos forneceram os coeficientes a , b , c e d . Uma planilha de Excel foi criada usando esses parâmetros automatizando o cálculo da dose para cada valor de escala de cinza. A curva de calibração obtida, que pode ser vista na figura 6, é válida para todos os filmes do mesmo lote.

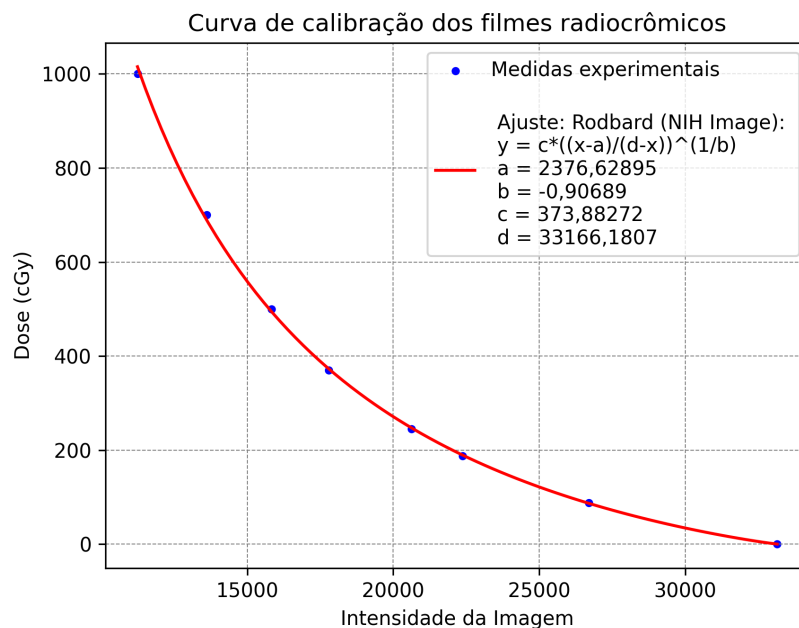
$$Dose[cGy] = c \times \left(\frac{I - a}{d - I} \right)^{1/b} \quad (1)$$

Onde:

I : intensidade

a, b, c , e d : parâmetros do ajuste

Figura 6 – Curva de calibração de dose por Intensidade da imagem, ajustada no ImageJ usando a função “*Roadbard(NIH Image)*”.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

4.3 Medidas nas condições de referência

A caracterização do feixe no isocentro, nomeada de geometria A nesse trabalho, permite criar uma linha de base, que será utilizada para avaliar a estabilidade do feixe, bem como variações de dose, simetria e planura, ao longo do tempo.

A reprodutibilidade, linearidade e dependência com a taxa de dose foram medidas utilizando uma câmara de placas paralelas tipo Roos. Um desvio de reprodutibilidade de 0,12% foi observado e os desvios para linearidade e dependência com a taxa de dose foram 0,18% e 0,3% respectivamente.

O perfil do feixe foi medido com o equipamento IC Profiler (Sun Nuclear, Melbourne, EUA) e está demonstrado na figura 7a. Essas medidas de simetria e planura serão nossa linha de base para avaliar a estabilidade do feixe nos testes de controle de qualidade periódicos.

A porcentagem de dose profunda foi medida usando um fantoma de água, e uma câmara de ionização de placas paralelas tipo Roos. Medidas usando filmes radiocrômicos e placas de água sólida também foram realizadas mostrando boa coincidência, como pode ser visto na figura 7b. A profundidade em água sólida foi ajustada por um fator de densidade de 1,03 para obter a equivalência em água.

Seguindo os procedimentos do protocolo TRS398 (IAEA, 2001) o feixe de alta taxa de dose de energia 6 MeV do acelerador linear foi calibrado para entregar 10 cGy por unidade monitora na profundidade de máxima dose, a uma distância fonte-superfície de 100 cm, atingindo uma taxa de dose de 3000 cGy por minuto.

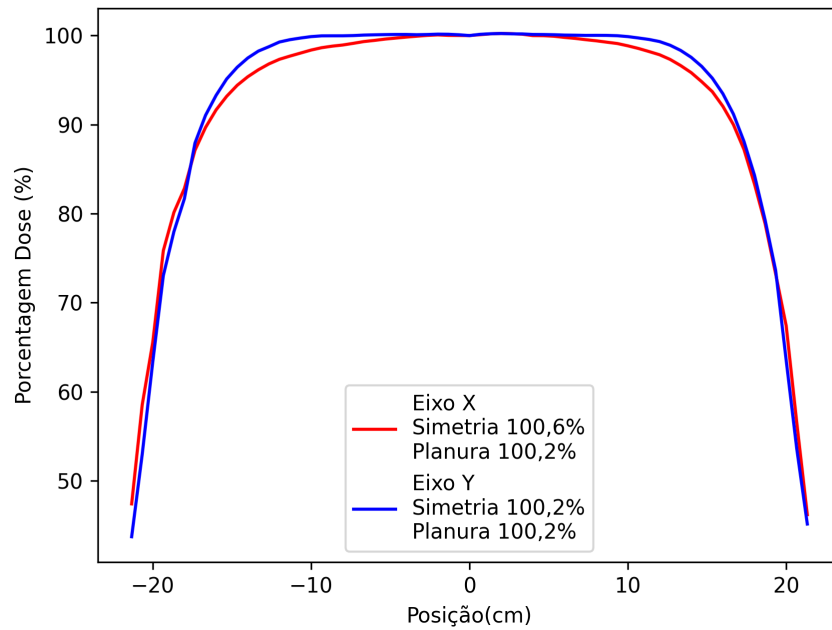
A medida de referência para o equipamento de dosimetria diária DailyQA (Sun Nuclear Corporation, Melbourne, EUA) foi realizada na posição do isocentro, limitando o tamanho do campo no modo de serviço do acelerador para 15x15 cm.

4.4 Determinação do ângulo do gantry e planura do feixe dual

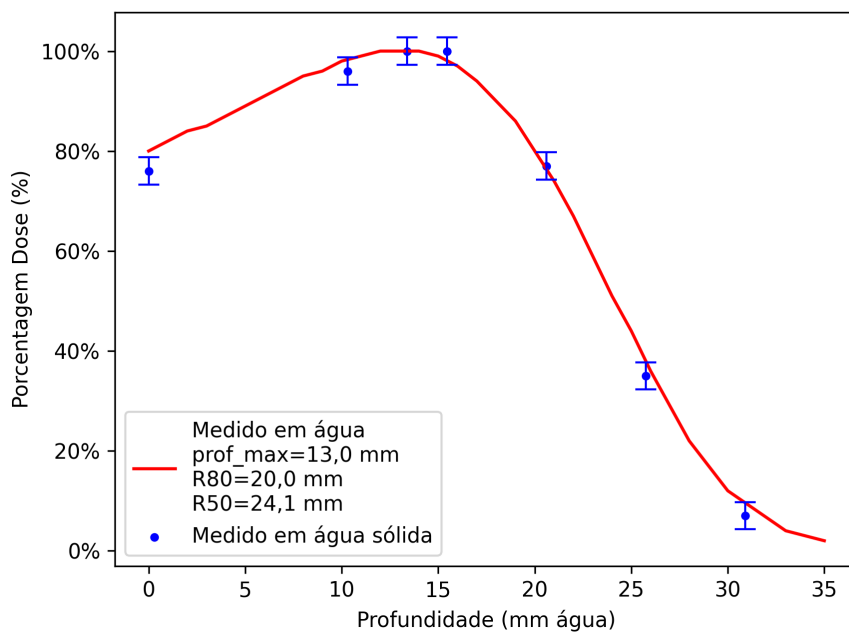
Para cobertura apropriada da superfície do paciente, o gantry do acelerador precisa atuar em duas posições de irradiação por incidência no paciente (campos duais), cada posição se desviando da horizontal por uma diferença angular Δ . O valor desse desvio precisa ser determinado visando alcançar os requisitos de uniformidade descritos no AAPM Report 23, que recomenda uma variação máxima de $\pm 8\%$ no eixo vertical e $\pm 4\%$ no eixo horizontal.

A fim de determinar o valor ideal de Δ , uma câmara de ionização cilíndrica do tipo Farmer com capa de build-up foi posicionada no centro do campo de irradiação, na altura do isocentro, no plano de tratamento. Variamos então a posição do Gantry, registrando

Figura 7 – (a) Simetria e planura do feixe no isocentro do acelerador; (b) Porcentagem de dose profunda.



(a)



(b)

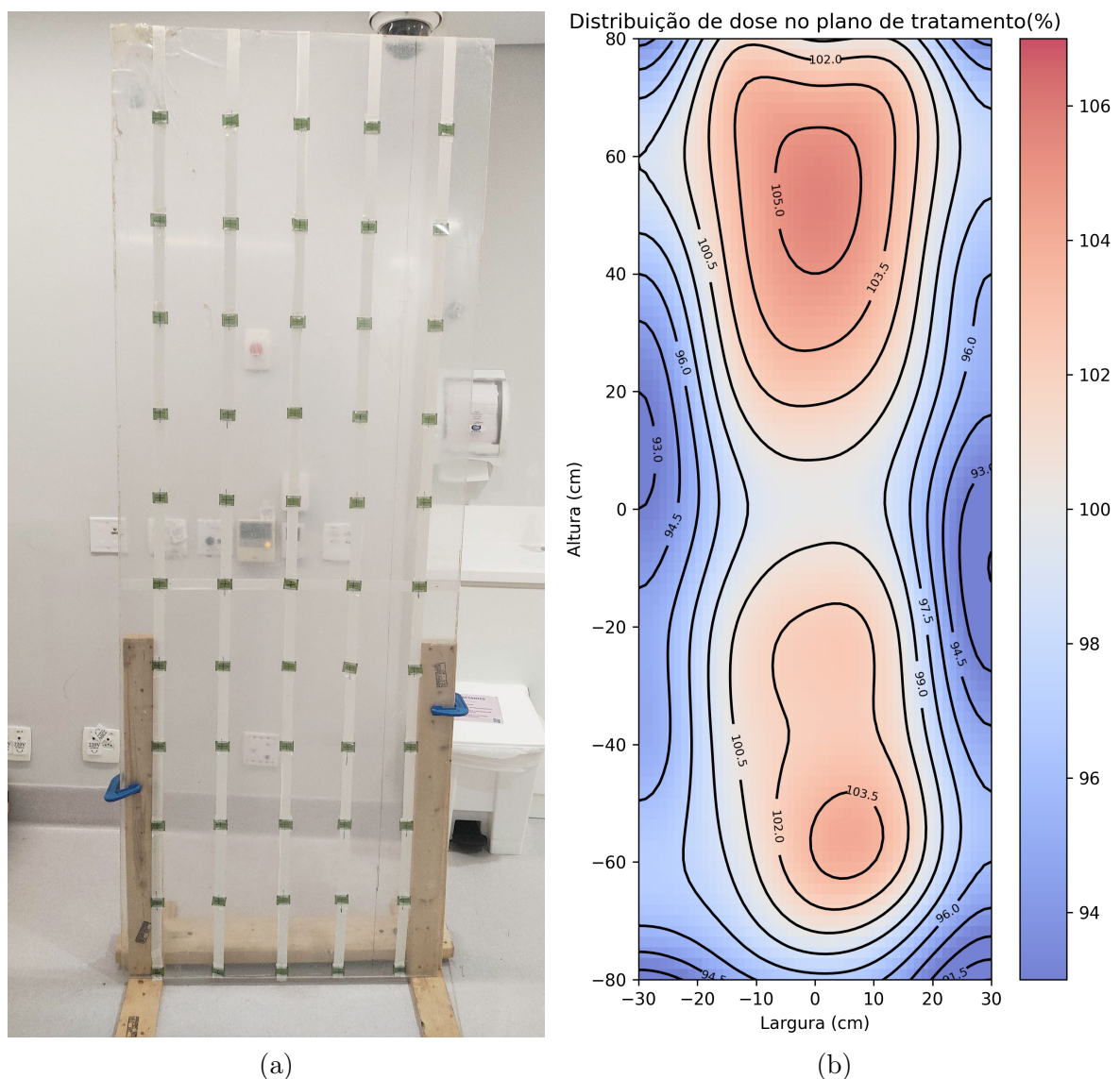
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

a leitura da câmara até que elas atingissem 50% da leitura máxima, levando a um desvio angular $\Delta = \pm 18^\circ$ com relação à horizontal.

Com os ângulos definidos, uma avaliação a homogeneidade de dose no plano de tratamento foi realizada dispoendo 55 tiras de filmes radiocrômicos de $2,0 \times 2,5$ cm com um espaçamento entre si de 20 cm no sentido vertical do feixe, e 15 cm no sentido horizontal, cobrindo uma área de 200×60 cm. Os filmes foram expostos aplicando 600 UM em cada incidência do campo dual, e processados seguindo os parâmetros descritos na seção 3.2.

Na figura 8a podemos ver o arranjo de filmes utilizados nas medidas dosimétricas, que uma vez processados e analisados deram origem a distribuição de dose no plano de tratamento vista figura 8b. Por fim, na figura 9a podemos ver os perfis de dose média horizontais e verticais.

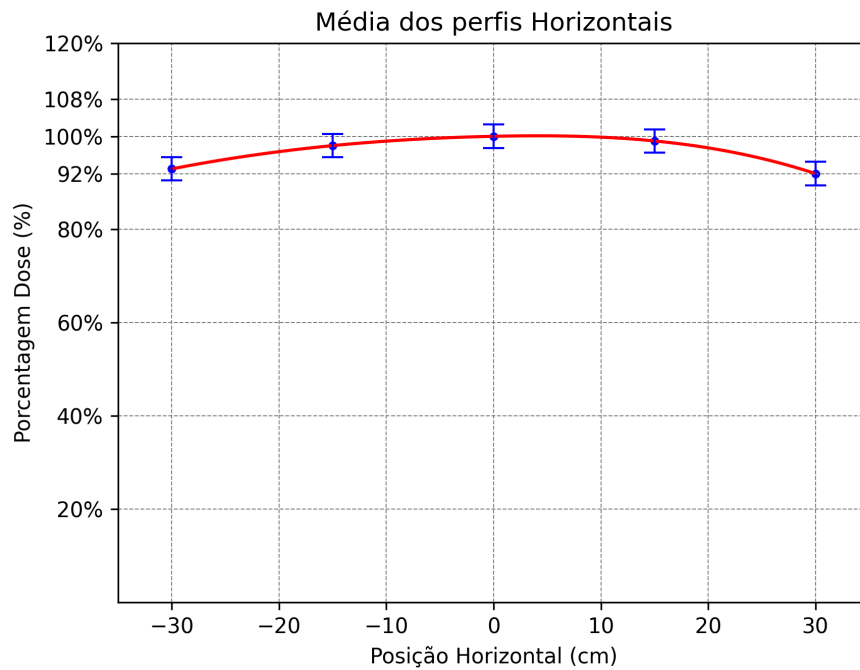
Figura 8 – (a) Arranjo de filmes utilizados na medida; (b) Distribuição de dose.



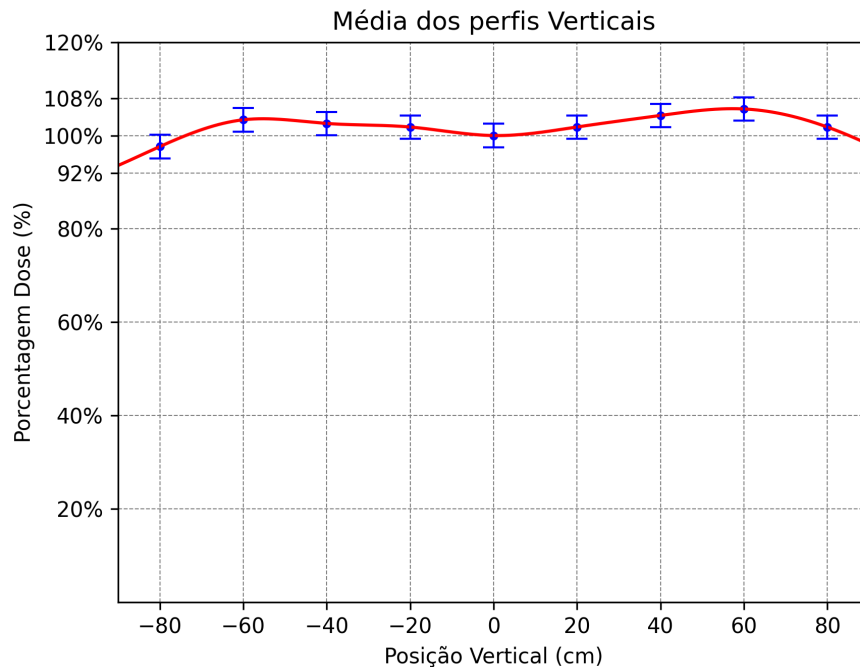
Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

A análise do perfil vertical mostra uma distribuição de dose com um padrão de dois picos com variação de dose na faixa de $\pm 8\%$ ao longo dos 160 cm centrais do feixe.

Figura 9 – Avaliação de uniformidade de dose no plano de tratamento; (a) Média dos perfis do eixo horizontal; (b) Média dos perfis do eixos vertical.



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Um desvio Δ de gantry menor provavelmente reduziria esse efeito, mas levaria a uma variação maior que 8% nos limites superiores e inferiores do campo. O perfil horizontal

apresenta características mais regulares, com o valor máximo no ponto central e baixando nas laterais. O desvio entre o ponto de maior dose e a menor dose no plano horizontal é de 8%, o que é considerado aceitável.

Uma assimetria vertical de 2% foi observada no plano de dose, compatível com resultados relatados na literatura (SCHIAPPARELLI et al., 2010). Esse desvio, que pode estar associado às diferenças de espalhamento entre o chão e teto da sala (NEVELSKY et al., 2017), foi considerado aceitável.

4.5 Contribuição de raios X no feixe de elétrons

Para medidas de contribuição por raios X utilizamos os filmes radiocrômicos posicionados a 10 cm de profundidade nas placas de água sólida. Nessa profundidade podemos considerar que todos os elétrons já foram barrados, e a dose medida se deve a raios X.

Uma maior contribuição é esperada no centro de cada feixe de radiação (KARZMARK et al., 1987), característica que favorece a técnica adotada, visto que o centro dos campos duais ficam apontados para cima da cabeça e abaixo dos pés do paciente, poupando boa parte do corpo da região de maior contribuição de raios X.

Os filmes radiocrômicos foram posicionados a uma profundidade de 10 cm em água sólida, no plano de tratamento. Devido à baixa proporção de radiação X no feixe, foi necessário utilizar um elevado número de unidades monitoras para assegurar que o filme fosse exposto a doses detectáveis. Foram utilizados, ao todo, 5000 unidades monitoras (UM) para cada feixe. As medições foram realizadas nas geometrias B e C, resultando em valores de 0,89% e 0,24%, respectivamente. Considerando que cada região da pele é irradiada por elétrons em três dos seis campos duais e por raios X em todos os seis campos, utilizaremos o dobro desses valores para ajustar as medições.

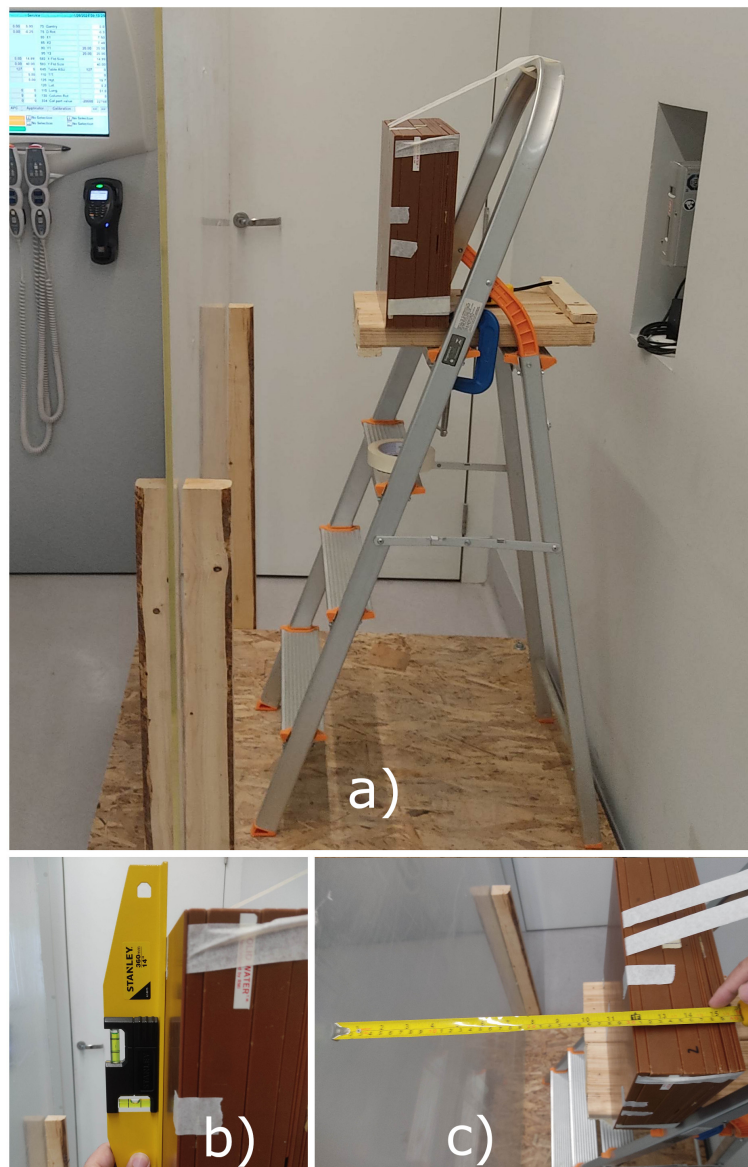
Dessa forma, estimamos uma contribuição de raios X de 0,5% no centro do feixe dual e estimamos que esse valor aumente gradativamente ao mover verticalmente em direção ao centro de cada um dos campos, sem ultrapassar o valor de 1,8% estimado para o feixe único horizontal da geometria B. Esses valores são considerados aceitáveis, ficando bem abaixo do limite máximo de 4% sugerido no documento AAPM Report 23 (KARZMARK et al., 1987).

4.6 Medidas fora das condições de referência

A dependência energética dos filmes EBT3 foi reportada na literatura como sendo menor que 1,1%, (SIPILÄ et al., 2016), além de serem considerados praticamente independentes da taxa de dose (BORCA et al., 2013), sendo escolhidos por essas características como detector para medidas fora das condições de referência.

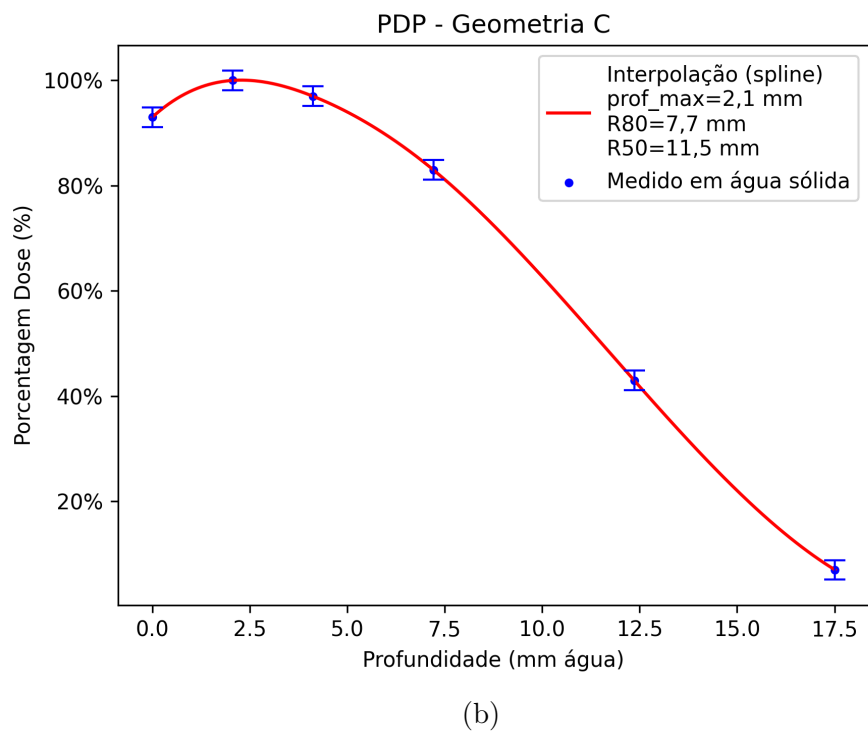
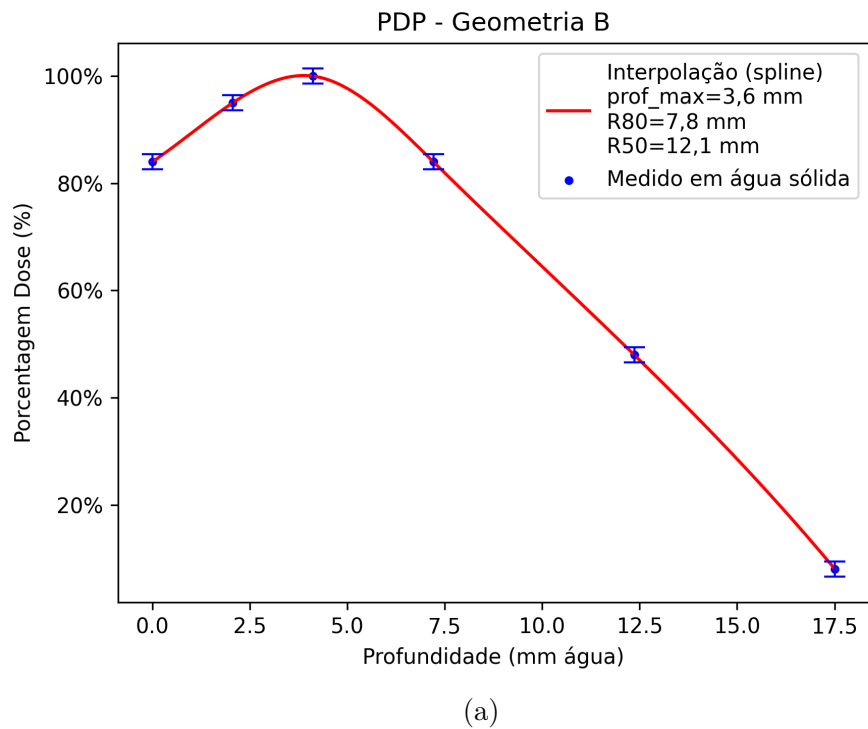
Para medidas nas geometrias B e C montamos um suporte que permitiu posicionar um conjunto de placas de água sólida com pedaços de filmes entre elas na distância de calibração, que pode ser visto na figura 10. As curvas de porcentagem de dose profunda obtidas dessa forma podem ser vistas na figura 11, onde uma curva continua e suave foi ajustada aos dados e utilizada na estimativa de parâmetros de interesse, como profundidade de dose máxima, e das curvas de 80% da dose, e 50% da dose. A profundidade em água sólida foi ajustada por um fator de densidade de 1,03 para obter a equivalência em água.

Figura 10 – a) Configuração utilizada nas medidas de PDP e na determinação da relação de dose/UM nas geometrias B e C; b) Nivelamento do fantoma de água sólida; c) Posicionamento a distância de 30cm da placa degradadora.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Figura 11 – a) Curva de Porcentagem de dose profunda da Geometria A, ajustada aos pontos para determinação de parâmetros relevantes, como profundidade de dose máxima e da curva de 80% e 50% da dose; b) Curva de Porcentagem de dose profunda da Geometria B.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

A relação entre dose e unidade monitora é obtida, para cada geometria, no respectivo profundidade de dose máxima da curva de PDP. Utilizamos 4 mm para geometria B, 2 mm para geometria C, ambos medidos em água sólida, e para geometria D posicionamos os filmes na superfície do fantoma antropomórfico.

Para medidas na geometria D, em que cada irradiação é composta por seis dos campos duais, utilizamos um fantoma antropomórfico (figura 12a) o qual é seccionado, permitindo a inserção de filmes em seu plano axial.

Seis tiras de filmes foram cortadas e posicionadas no plano axial do fantoma (12b), cada uma espaçada 60° entre si e paralelos as cada incidência. Após a irradiação e processamento dos filmes, uma curva de Porcentagem de dose profunda é obtida exportando o perfil central de cada um desses filmes, convertendo em dose e tirando a média em cada profundidade. Podemos ver o resultado dessa medida na figura 13a, que mostra uma queda abrupta de dose a partir da superfície.

As curvas de PDP nos permitem estimar parâmetros como o alcance ou *range* prático R_p e profundidade da curva de 50% da dose, o R_{50} , que podem então ser relacionados a energia do feixe. A energia provável $E_{p,o}$ e a Energia média na superfície do fantom \bar{E}_o podem ser estimadas por meio das equações 2 e 3 respectivamente ((KARZMARK et al., 1987)).

$$E_{p,o}[MeV] = 1,95 \times R_p[g/cm^2] + 0,48 \quad (2)$$

$$\bar{E}_o[MeV] = 2,33R_{50}[g/cm^2] \quad (3)$$

A relação entre Dose/UM foi determinada a partir da realização de múltiplas medições de dose utilizando diferentes unidades monitoras, conforme ilustrado na Figura 13b. Nas medições realizadas sob condições de referência (seção 4.3), foi confirmada a linearidade da resposta das câmaras monitoras do acelerador. Dessa forma, a razão entre Dose/UM foi obtida a partir do coeficiente angular do ajuste linear dos dados.

Para geometria D foi encontrado um valor de $1,868(\pm 0,046)$ cGy por UM.

Figura 12 – (a) Fantoma antropomórfico utilizado nas medidas da geometria D; (b) Tiras de filmes foram posicionadas no plano axial do fantoma, paralelas a cada uma das seis incidências.



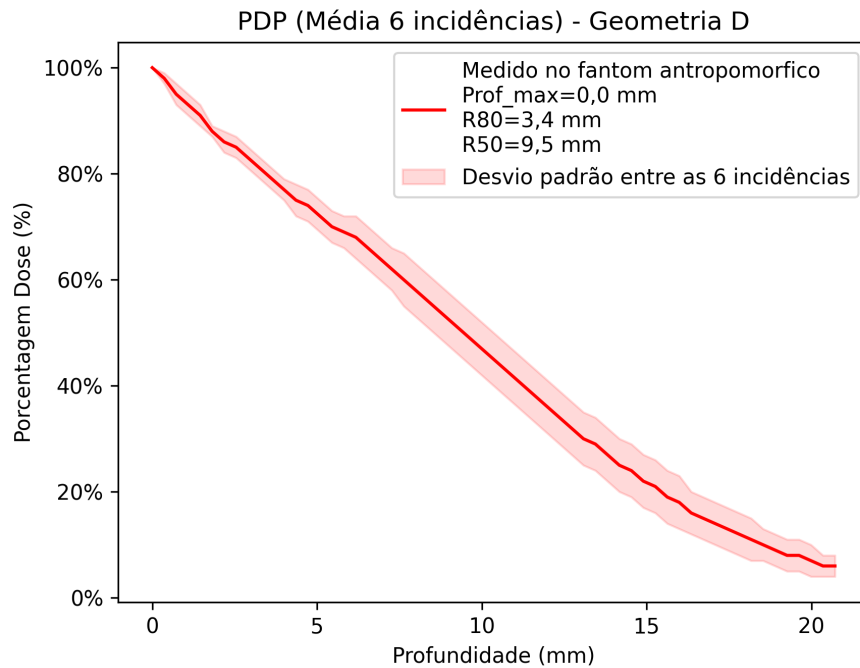
(a)



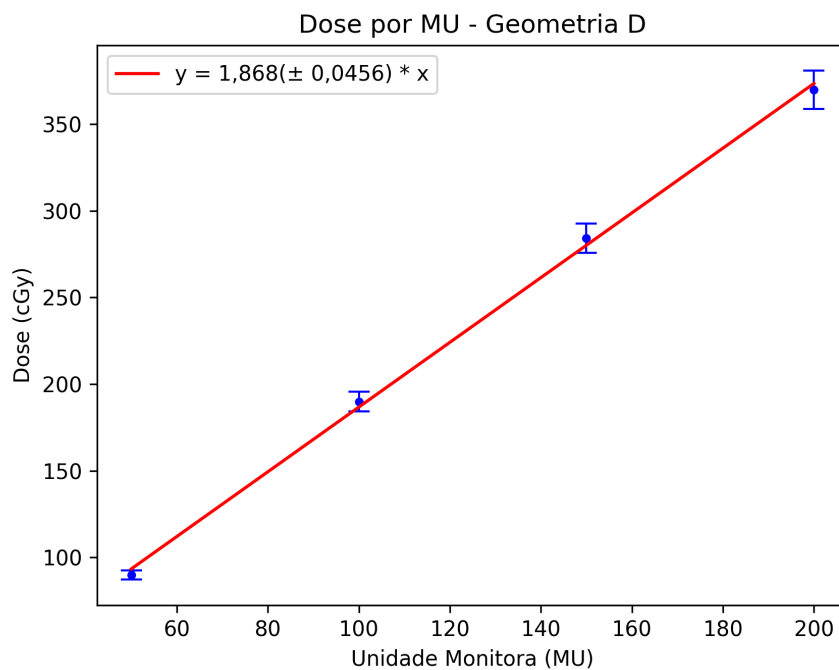
(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Figura 13 – (a) Média das curvas de porcentagem e dose profunda obtidas em cada incidência; (b) Relação de dose por UM, medido pelos filmes colados na superfície do fantoma na posição do umbigo, a altura do isocentro.



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

4.7 Resumo dos resultados de comissionamento

Um resumo dos resultados está apresentado na Tabela 2, que inclui os seguintes parâmetros: alcance da curva de 80% (R80), alcance da curva de 50% (R50), alcance prático (Rp), energia mais provável na superfície do fantoma ($E_{p,0}$), energia média na superfície do fantoma (E_0) e Dose por Unidade de Medida (Dose/UM) para cada uma das geometrias estudadas.

Para a geometria de tratamento D, observou-se que a energia mais provável na superfície ($E_{p,0}$) foi de 3,99 MeV e o valor de R50 foi de 0,92 cm. Ambos os valores atendem aos critérios estabelecidos pelo AAPM Report 23 (KARZMARK et al., 1987), que recomenda uma energia de $E_{p,0}$ próxima a 4 MeV e um valor de R50 na faixa de 5 mm a 15 mm.

A razão entre a dose aplicada na pele (Geometria D) e a dose no ponto de calibração do feixe Dual (Geometria C), apresentou um valor de 2,62, situando-se dentro da faixa de referência de 2,5 a 3,1, descrita no AAPM Report 23 (KARZMARK et al., 1987).

Tabela 2 – Resumo dos resultados do comissionamento.

	R80	R50	Rp	$E_{p,0}$	E_0	Dose/UM
	(cm)	(cm)	(cm)	(MeV)	(MeV)	(cGy/UM)
Geometria A	2,00	2,41	3,2	6,72	5,61	10,00*
Geometria B	0,78	1,21	1,9	4,18	2,81	0,686(±0,005)
Geometria C	0,77	1,15	1,75	3,89	2,67	0,712(±0,007)
Geometria D	0,34	0,92	1,8	3,99	2,14	1,868(±0,046)

R80 = alcance da curva de 80%; R50 = alcance da curva de 50%; Rp = alcance prático;

$E_{p,0}$ = energia mais provável na superfície; E_0 = energia média na superfície; UM = unidade monitora;

* Acelerador Calibrado em condições de referência para um valor nominal de 10 cGy por UM.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

4.8 Controle de qualidade

Os seguintes testes foram adicionados ao programa de garantia de qualidade do acelerador.

1. Dosimetria absoluta da energia de 6 MeV HDRE, nas condições de referência, deve ser realizada mensalmente.
 - No fantom de água 50x50x50, DFS=100 cm, gantry = 0°, campo 40×40 cm;
 - Câmara de placas paralelas PPC40, seguindo o protocolo de dosimetria IAEA TRS398;

- Com a câmara posicionada na profundidade de referência de 1,34 cm irradiado com 30 unidades monitoras deve atingir uma dose de 3Gy na profundidade de máximo.
2. Uma medida de constância de dose, simetria e planura do feixe deve ser realizada um dia antes da primeira irradiação de cada paciente novo, e em todos os dias de tratamento.
- Equipamento DailyQA 3 (Sun Nuclear, Melbourne, USA) posicionado com gantry a 0° e DSF = 100 cm.
 - Selecionar a linha de base criada no software com o nome 6 MeV HDRE;
 - O tamanho de campo dever ser limitando em modo de serviço a 15x15 cm, entregando 10 unidades monitoras.

4.9 Elaboração do procedimento operacional padrão

O procedimento operacional padrão foi elaborado e pode ser visto no anexo A. Ele é um resultado da observação do tratamento de pacientes no acelerador linear Varian 23EX, entrevistas com as equipes de operação, enfermagem e corpo clínico do hospital israelita Albert Einstein. Essas informações foram compiladas e adaptadas para as características operacionais da nova sala e do acelerador linear elekta Versa HD.

Ele inclui uma descrição dos materiais e acessórios utilizados pelos operadores no procedimento e descrição do funcionamento do modo de alta taxa de dose do Acelerador linear Versa HD, detalhando as verificações pré-tratamento. Cuidados a serem tomados na primeira aplicação são descritos e detalhes do posicionamento do paciente na plataforma para cada uma das 6 posições foram incluídos. Informação sobre os pontos avaliados da dosimetria individual foram apresentados, com valores de referências e critérios de análise dos resultados.

Os procedimentos operacionais são ferramentas que integram o programa de garantia de qualidade e melhoria contínua do departamento, sendo de carácter multidisciplinar, e devem ser reavaliados periodicamente.

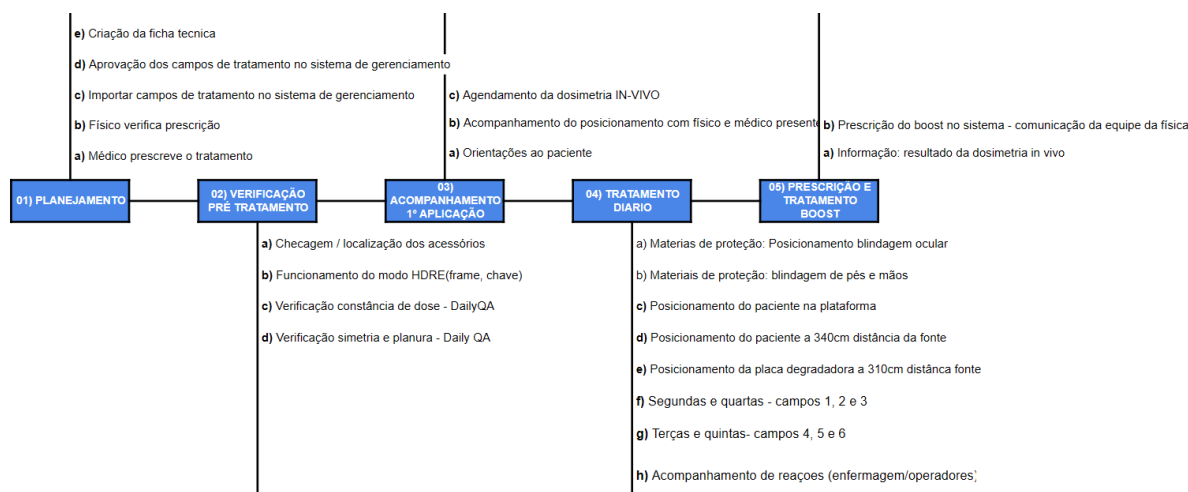
4.10 Análise preliminar de risco

O ponto inicial da análise prospectiva de risco é descrever todas as etapas do procedimento através do mapeamento do processo, seguido por uma listagem detalhada das potenciais falhas que podem ocorrer em cada passo do processo.

Neste mapeamento inicial, dividimos o processo em 5 etapas principais: *Planejamento; Verificação pré-tratamento; Primeira aplicação; Tratamento diário; Prescrição e*

tratamento do reforço (boost). Para cada etapa listamos todos os processos envolvidos, que podem ser vistos organizados no diagrama mostrado na figura 14.

Figura 14 – Mapeamento do processo de análise de risco para ITPE dividido em 5 etapas principais (em azul), descrevendo em cada linha os passos relacionados a cada etapa.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

Todas as etapas do mapa do processo foram avaliadas por um físico médico especialista, que listou os modos potenciais de falha para cada etapa e organizou todas as informações em uma planilha, pensada de modo que o preenchedor pudesse: i) identificar potenciais modos de falha não incluídos pelo primeiro especialista e ii) avaliar todos os modos de falha com relação a O (ocorrência), D (detecção) e S (severidade), dando notas de 1 a 10 conforme critérios definidos na tabela 3.

Tabela 3 – Matriz de classificação dos modos de falha em relação à Ocorrência (O), Severidade (S) e Detectabilidade (D).

Ocorrência (O)			Severidade (S)		Detectabilidade (D)		
Ranking	Probabilidade de falha	Frequência %	Efeito	Severidade do Efeito	Detecção	Probabilidade da falha NÃO ser detectada	Ranking
10	Muito Alta: Falhas quase inevitáveis	>5	CATASTRÓFICO	Dose, dose distribuição, localização ou volume MUITO ERRADO	QUASE CERTA	>20%	10
9	Alta: Falhas frequentes	<5	MUITO ALTO		MUITO ALTA	20%	9
8		<2	ALTO		ALTA	15%	8
7	Moderado: Falhas ocasionais	<1		Dose, dose distribuição, localização ou volume ERRADO	MODERADAMENTE ALTA	10%	7
6		<0,5	LIMITADO		MODERADA	5%	6
5		<0,2			BAIXA	2%	5
4	Baixo: Relativamente poucas falhas	0,1	MENOR	Plano e tratamento SUB-ÓTIMO	MUITO BAIXA	1%	4
3		0,05	INCONVENIÊNCIA	Inconveniente para o paciente ou equipe	REMOTA	0,50%	3
2	Remoto: Falha é improvável	0,02			MUITO REMOTA	0,20%	2
1		0,01	Nenhum	Nenhum efeito	NEGLIGÍVEL	0,01%	1

Fonte: Adaptado de (HUQ et al., 2016).

A planilha completa pode ser vista no apêndice B. Os modos de falha considerados nessa análise, bem como os resultados de número de prioridade de risco (RPN) resultantes dessa avaliação inicial podem ser vistos na tabela 4.

Os maiores valores de RPN encontrados nessa avaliação preliminar estão associados aos processos: 4a (tratamento sem placa degradadora); 4f e 4d (posicionamento inadequado do paciente); 2c, 2d (Erro na calibração de dose, simetria e planura do feixe devido a não realização da dosimetria diária).

A planilha de avaliação de risco e os resultados preliminares serão compartilhados e discutidos com o restante da equipe multidisciplinar antes do início do tratamento de pacientes na nova sala, quando propostas de mitigação de risco podem ser discutidas e incorporada ao Procedimento operacional padrão.

Tabela 4 – Estimativa inicial dos valores de severidade (S), ocorrência (O) e detectabilidade (D) para cada etapa do processo e tarefas correspondentes. O valor de RPN (risk priority number) pode ser visto na última coluna.b

Etapa do processo	Tarefa	Modo de falha potencial	Efeitos da falha potencial	O c o	S e v	D e t	R P N	
1)Planejamento	1c) importar campos de tratamento no sistema de gerenciamento	Parâmetros errados - UM, gantry, colimador, tamanho de campo, energia	Dose errada	2	7	3	42	
		Nem todos os campos criados no sistema de gerenciamento Mosaicq	Dose errada	2	7	2	28	
2) Verificação pré-tratamento	1e) Criação da ficha técnica	Usar modelos pré-preenchidos pode diferir da prescrição do paciente	Perda de tempo / confusão	4	2	2	16	
		Checagem não feita antes do paciente chegar	Perda de tempo.	3	2	6	36	
	2a)Checagem/localização dos acessórios: Placa degradadora de acrílico, blindagem ocular, blindagem para dedos da mão e pés	Acessórios não encontrados na hora da aplicação	Adiamento da primeira aplicação	3	2	6	36	
	2b) Funcionamento do Modo HDRE: frame HDRE, e chave HDRE.	Proteção ocular não esterilizada (esterilização vencida)	Perda de tempo. adiamento da primeira aplicação	3	2	6	36	
	2c) Verificação Constância de dose - Daily QA	Não realizado do teste leva a erro na dose entregue	Dose errada	3	4	6	72	
3) Acompanhar primeira aplicação	2d) Verificação Simetria e planura - Daily QA	Não realização do teste leva piora na uniformidade de dose no paciente	Distribuição de dose errada	3	4	6	72	
		3a) Orientações ao paciente	Informação insuficiente - falta de clareza	Demora na primeira aplicação	4	2	2	16
	3b) Acompanhamento do posicionamento com físico e médico presentes	Procedimento de baixa frequência - Físico e médico não presentes levam a erro posicionamento	Distribuição de dose errada	1	5	1	5	
Procedimento de baixa frequência - erro acessórios		Dose errada	1	8	1	8		
4)Tratamento diário	3c) Agendamento da dosimetria IN-VIVO	Dosimetria IN-VIVO não realizada ou feita muito tarde	Erro prescrição do boost	2	2	4	16	
		Atraso no uso de proteção regiões de alta dose	56					
	4a) Materiais de proteção: blindagem ocular	Esquecer de usar proteção ocular	Limite de dose excedido	2	7	3	42	
		4b) Materiais de proteção: blindagem de pés e mãos	Esquecer de usar proteção pés e mãos	Reações na pele mãos e pés	2	5	4	40
	4c) Posicionamento do paciente na plataforma	Paciente mal posicionado / orientado	Queda do paciente	2	9	2	36	
		Roupa inadequada blinda o feixe	Erro na dose /	2	3	2	12	
	4d) Posicionamento do paciente a 340 cm de distância da fonte	Suporte do paciente posicionado na distância errada	Erro na dose	2	3	7	42	
		4e) Posicionamento da placa degradadora a 310 cm de distância da fonte	Tratamento sem placa degradadora	Erro gravíssimo na	3	10	4	120
	Placa degradadora posicionada na distância errada		Erro distribuição de dose	3	2	7	42	
	4f e 4g) entregas dos campos 1, 2, 3, 4, 5 e 6	Posicionamento do paciente inadequado	Rotação nos campos oblíquos inadequado (<60° relativo ao ANT/POST)	Pontos quentes ou frios	4	3	6	72
			Nem todos os campos são entregues	Erro na distribuição de dose	5	2	5	50
		Campos de tratamento são irradiados mais do que uma vez	Erro na dose	2	3	3	18	
Erro na dose			1	4	1	4		
4h) Acompanhamento semanal enfermagem/ operadores	Falha/atraso na identificação de reações	Reações na pele / interrupção do tratamento	2	3	2	12		
		Falha/atraso na comunicação das reações a equipe da física	Reações na pele / interrupção do tratamento	2	7	2	28	
5) PRESCRIÇÃO E TRATAMENTO BOOST	5a) Informação - Resultado da dosimetria IN-VIVO	Medidas erradas levam a prescrição errada	Erro na dose	3	2	2	12	
		5b) Prescrever: Regiões de boost, Dose/Fracionamento, Energia	Erro na dose	2	7	3	42	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024).

5 Conclusão

Os resultados das medidas de comissionamento confirmam a viabilidade da implantação da técnica de ITPE na sala do Acelerador Versa HD. O ângulo ideal de $\pm 18^\circ$ da horizontal para os campos duais foi encontrado, e uma análise de uniformidade de dose no plano de tratamento revelou desvios de $\pm 7\%$ no eixo vertical e $\pm 4\%$ no eixo horizontal, valores considerados aceitáveis.

A contribuição de raios X no feixe de elétrons foi estimada entre 0,5 e 1,8%, valores considerados aceitáveis, bem abaixo do limite máximo de 4%. Valores de energia e penetração dos feixes degradados pela placa de acrílico ficaram dentro do esperado. Para geometria de tratamento D, a energia provável na superfície $E_{p,0}$ foi de 3,99 MeV e o valor de R50 de 0,92 cm, ambos os valores satisfazendo os requisitos de irradiação do AAPM Report 23 (KARZMARK et al., 1987), que recomenda uma energia de $E_{p,0}$ de 4 MeV e R50 entre 5 mm a 15 mm.

A relação de dose na pele do paciente por unidade monitora do acelerador foi estabelecida como 1,868($\pm 0,046$) cGy/UM.

Um programa de garantia de qualidade foi estabelecido para assegurar que os parâmetros levantados durante o comissionamento permaneçam estáveis ao longo do tempo. Valores de referência, como estabilidade, linearidade de dose, simetria e planura do feixe foram levantados servirão como linhas de base para os testes.

As medidas de comissionamento foram descritas em detalhes, priorizando o uso de detectores disponíveis na maioria dos serviços de radioterapia, como fantasmas de placas de água sólida e filmes radiocrômicos.

Um Procedimento Operacional Padrão (POP) descrevendo a rotina de tratamento do paciente foi elaborado, detalhando e adaptando os processos atualmente em vigor no acelerador linear Varian 23EX as características do novo equipamento.

Uma análise preliminar de risco utilizando a análise de modos de falhas e efeitos foi realizada, que servirá de base para futuras revisões e melhorias do procedimento operacional.

Referências

- AGAR, N. S.; WEDGEWORTH, E.; CRICHTON, S.; MITCHELL, T. J.; COX, M.; FERREIRA, S.; ROBSON, A.; CALONJE, E.; STEFANATO, C. M.; WAIN, E. M.; WILKINS, B.; FIELDS, P. A.; DEAN, A.; WEBB, K.; SCARISBRICK, J.; MORRIS, S.; WHITTAKER, S. J. Survival outcomes and prognostic factors in mycosis fungoides/sézary syndrome: validation of the revised international society for cutaneous lymphomas/european organisation for research and treatment of cancer staging proposal. v. 28, n. 31, p. 4730–4739, 2010. ISSN 1527-7755.
- ALMEIDA, S. B. de; VILLANI, D.; SAKURABA, R. K.; REZENDE, A. C. P. de; SANTOS, S. C.; CAMPOS, L. L. Dosimetric evaluation employing tl and osl techniques with different luminescent materials for clinical evaluation of extremity doses using electron beams applied to total-irradiation-of-skin treatments. **International Journal of Modern Physics: Conference Series**, v. 48, p. 1860110, 1 2018. ISSN 2010-1945. Disponível em: <<https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2010194518601102>>.
- ANTOLAK, J. A.; B.S., J. H. C.; M.D., C. S. H. Utilization of thermoluminescent dosimetry in total skin electron beam radiotherapy of mycosis fungoides. **International Journal of Radiation OncologyBiologyPhysics**, v. 40, p. 101–108, 1 1998. ISSN 03603016. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360301697005853>>.
- BAGHERANI, N.; SMOLLER, B. R. An overview of cutaneous t cell lymphomas. v. 5, p. F1000 Faculty Rev–1882, 2016. ISSN 2046-1402. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4965697/>>.
- BORCA, V. C.; PASQUINO, M.; RUSSO, G.; GROSSO, P.; CANTE, D.; SCIACERO, P.; GIRELLI, G.; PORTA, M. R. L.; TOFANI, S. Dosimetric characterization and use of GAFCHROMIC EBT3 film for IMRT dose verification. v. 14, n. 2, p. 4111, 2013. ISSN 1526-9914.
- ELSAYAD, K.; MOUSTAKIS, C.; SIMONSEN, M.; BÄCKER, D.; HAVERKAMP, U.; EICH, H. T. In-vivo dosimetric analysis in total skin electron beam therapy. **Physics and Imaging in Radiation Oncology**, v. 6, p. 61–65, 4 2018. ISSN 24056316. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405631617300829>>.
- ELSAYAD, K.; SUSEK, K. H.; EICH, H. T. Total Skin Electron Beam Therapy as Part of Multimodal Treatment Strategies for Primary Cutaneous T-Cell Lymphoma. **Oncology Research and Treatment**, v. 40, n. 5, p. 244–252, 2017. ISSN 2296-5262.
- GERBI, B. J.; KHAN, F. M.; DEIBEL, F.; KIM, T. H. Total skin electron arc irradiation using a reclined patient position. **International Journal of Radiation Oncology*Biological*Physics**, v. 17, p. 397–404, 8 1989. ISSN 03603016. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0360301689904574>>.
- GIORDANO, A.; PAGANO, L. The Treatment of Advanced-Stage Mycosis Fungoides and Sezary Syndrome: a Hematologist’s Point of View. **Mediterranean Journal of Hematology and Infectious Diseases**, v. 14, n. 1, p. e2022029, mar. 2022. ISSN 2035-3006. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8992618/>>.

GUIDI, G.; GOTTARDI, G.; CERONI, P.; COSTI, T. Review of the results of the in vivo dosimetry during total skin electron beam therapy. **Reports of Practical Oncology & Radiotherapy**, v. 19, p. 144–150, 3 2014. ISSN 15071367. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S150713671301016X>>.

HENSLEY, F. W.; MAJOR, G.; EDEL, C.; HAUSWALD, H.; BISCHOF, M. Technical and dosimetric aspects of the total skin electron beam technique implemented at heidelberg university hospital. **Reports of Practical Oncology and Radiotherapy**, Urban and Partner, v. 19, p. 135–143, 2014. ISSN 15071367.

HOWARD, M. E.; HERMAN, M. G.; GRAMS, M. P. Methodology for radiochromic film analysis using FilmQA pro and ImageJ. v. 15, n. 5, p. e0233562, 2020. ISSN 1932-6203. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7241712/>>.

HUQ, M. S.; FRAASS, B. A.; DUNSCOMBE, P. B.; JR., J. P. G.; IBBOTT, G. S.; MUNDT, A. J.; MUTIC, S.; PALTA, J. R.; RATH, F.; THOMADSEN, B. R.; WILLIAMSON, J. F.; YORKE, E. D. The report of Task Group 100 of the AAPM: Application of risk analysis methods to radiation therapy quality management. **Medical Physics**, v. 43, n. 7, p. 4209–4262, 2016. ISSN 2473-4209. _eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1118/1.4947547>. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1118/1.4947547>>.

IAEA. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy an international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water. **Technical Report Series No. 398**, v. 2006, 2001.

JONES, G. W.; KACINSKI, B. M.; WILSON, L. D.; WILLEMZE, R.; SPITTLE, M.; HOHENBERG, G.; HANDL-ZELLER, L.; TRAUTINGER, F.; KNOBLER, R. Total skin electron radiation in the management of mycosis fungoides: Consensus of the european organization for research and treatment of cancer (EORTC) cutaneous lymphoma project group. v. 47, n. 3, p. 364–370, 2002. ISSN 0190-9622.

KARZMARK, C. J.; ANDERSON, J.; BUFFA, A.; FESSENDEN, P.; KHAN, F.; SVENSSON, G.; WRIGHT, K.; ALMOND, P.; FRAASS, B.; HOGSTROM, K.; LOEVINGER, R.; MORTON, R.; PALOS, B.; BIGGS, P.; DALLY, E.; JOHNSEN, S.; JOHNSON, P.; KAO, M.; NATH, R.; NUNAN, C.; PODGORSAK, E.; REFT, C. **Total Skin Electron Therapy: Technique and Dosimetry**. [S.l.], 1987. 216 p. Disponível em: <<https://www.aapm.org/pubs/reports/detail.asp?docid=22>>.

KRON, T.; DONAHOO, G.; LONSKI, P.; WHEELER, G. A technique for total skin electron therapy (tset) of an anesthetized pediatric patient. **Journal of Applied Clinical Medical Physics**, v. 19, p. 109–116, 11 2018. ISSN 15269914. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/acm2.12457>>.

LATZKA, J.; ASSAF, C.; BAGOT, M.; COZZIO, A.; DUMMER, R.; GUENOVA, E.; GNIADECKI, R.; HODAK, E.; JONAK, C.; KLEMKE, C.-D.; KNOBLER, R.; MORRIS, S.; NICOLAY, J. P.; ORTIZ-ROMERO, P. L.; PAPADAVID, E.; PIMPINELLI, N.; QUAGLINO, P.; RANKI, A.; SCARISBRICK, J.; STADLER, R.; VäKEVÄ, L.; VERMEER, M. H.; WEHKAMP, U.; WHITTAKER, S.; WILLEMZE, R.; TRAUTINGER, F. EORTC consensus recommendations for the treatment of mycosis fungoides/sézary syndrome – update 2023. v. 195, 2023. ISSN 0959-8049, 1879-0852. Publisher: Elsevier. Disponível em: <[https://www.ejcancer.com/article/S0959-8049\(23\)00645-7/fulltext](https://www.ejcancer.com/article/S0959-8049(23)00645-7/fulltext)>.

MAZZEO, E.; RUBINO, L.; BUGLIONE, M.; ANTOGNONI, P.; MAGRINI, S. M.; BERTONI, F.; PARMIGGIANI, M.; BARBIERI, P.; BERTONI, F. The current management of mycosis fungoides and sézary syndrome and the role of radiotherapy: Principles and indications. v. 19, n. 2, p. 77–91, 2013. ISSN 1507-1367. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4054991/>>.

MURRER, L.; HULST, P. V. D.; JANSEN, W.; LEEUWEN, R. V.; KOKEN, P.; DUMONT, D.; DANIELS, L.; KAMER, J. V. D.; PITTMVILS, G. **NCS Report 34: Code of Practice and recommendations for Total Body Irradiation and Total Skin Irradiation**. 2021. Edition: 1. Disponível em: <<https://radiationdosimetry.org/ncs/documents/ncs-34-CoP-TBI-TSI>>.

NEVELSKY, A.; BORZOV, E.; DANIEL, S.; BAR-DEROMA, R. Room scatter effects in total skin electron irradiation: Monte carlo simulation study. **Journal of Applied Clinical Medical Physics**, v. 18, 2017. ISSN 15269914.

N.I.H. **ImageJ**. 2023. Disponível em: <<https://imagej.net/ij/index.html>>.

PIOTROWSKI, T.; MALICKI, J. **The rotary dual technique for total skin irradiation in the treatment of mycosis fungoides – a description of the applied method - ScienceDirect**. 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1507136706710471>>.

PODGORSAK, E. B.; PLA, C.; PLA, M.; LEFEBVRE, P. Y.; HEESE, R. Physical aspects of a rotational total skin electron irradiation. v. 10, n. 2, p. 159–168. ISSN 0094-2405.

REYNARD, E. P.; EVANS, M. D.; DEVIC, S.; PARKER, W.; FREEMAN, C. R.; ROBERGE, D.; PODGORSAK, E. B. Rotational total skin electron irradiation with a linear accelerator. v. 9, n. 4, p. 123–134. ISSN 1526-9914. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5722347/>>.

SCHIAPPARELLI, P.; ZEFIRO, D.; MASSONE, F.; TACCINI, G. Total skin electron therapy (TSET): A reimplementation using radiochromic films and IAEA TRS-398 code of practice. **Medical Physics**, v. 37, n. 7Part1, p. 3510–3517, 2010. ISSN 2473-4209. _eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1118/1.3442301>. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1118/1.3442301>>.

SHARIFF, M.; STILLKRIEG, W.; LOTTER, M.; LOHMANN, D.; WEISSMANN, T.; FIETKAU, R.; BERT, C. Dosimetry, optimization and fmea of total skin electron irradiation (tsei). **Zeitschrift für Medizinische Physik**, v. 32, p. 228–239, 5 2022. ISSN 09393889. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0939388921000866>>.

SIPILÄ, P.; OJALA, J.; KAIJALUOTO, S.; JOKELAINEN, I.; KOSUNEN, A. Gafchromic EBT3 film dosimetry in electron beams — energy dependence and improved film read-out. v. 17, n. 1, p. 360–373, 2016. ISSN 1526-9914. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5690204/>>.

WILLEMZE, R.; HODAK, E.; ZINZANI, P.; SPECHT, L.; LADETTO, M. Primary cutaneous lymphomas: ESMO clinical practice guidelines for diagnosis, treatment and follow-up. v. 29, p. iv30–iv40, 2018. ISSN 09237534. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092375341931693X>>.

WILSON, L. D. Delivery and sequelae of total skin electron beam therapy. v. 139, n. 6, p. 812–813, 2003. ISSN 0003-987X.

ZHAO, S.; SONG, S. Comparison of low-dose and standard-dose total skin electron beam therapy for mycosis fungoides. v. 99, n. 2, p. E435–E436, 2017. ISSN 0360-3016. Publisher: Elsevier. Disponível em: <[https://www.redjournal.org/article/S0360-3016\(17\)32699-8/fulltext](https://www.redjournal.org/article/S0360-3016(17)32699-8/fulltext)>.

Apêndices

APÊNDICE A – Procedimento Operacional Padrão
— Irradiação de toda pele com elétrons (ITPE)

Procedimento operacional - Irradiação de toda pele com elétrons

Departamento de Radioterapia

6 de outubro de 2024

Sumário

1	Definição	1
2	Materiais	2
3	Funcionamento do modo HDRE no acelerador versa HD	4
4	Verificações pré-tratamento	5
5	Acompanhamento da 1ª Aplicação	5
6	Tratamento diário	7
7	Dosimetria in vivo e prescrição do reforço de dose (<i>boost</i>)	10

1 Definição

O tratamento de Irradiação de Toda Pele com Elétrons (ITPE) é a irradiação total da superfície da pele do paciente com elétrons de baixa energia para o tratamento de linfoma cutâneo de células T.

1.1 Objetivos

Descrever os métodos e procedimentos para realização o tratamento de Irradiação de Toda Pele com Elétrons (ITPE) no acelerador linear Versa HD.

1.2 Indicação e contra-indicação

Paciente com linfoma cutâneo de células T

1.3 Responsáveis

Equipe multidisciplinar.

2 Materiais

2.1 Suporte de Imobilização

Plataforma circular com um enquadramento de madeira (para auxiliar o paciente a manter as posições durante o tratamento, montada sob rodízios — figura 1(a).

2.2 Placa Espalhadora

Moldura metálica para sustentar a placa degradadora na posição, montada sob rodízios - figura 1(a).

2.3 Proteção ocular e anestésico

Consistem em uma blindagem metálica, circular e concava, inserida abaixo das pálpebras, para limitar dose recebida no olho e cristalino — figura 1(b).

Deve estar esterilizada, sendo aplicada sobre o olho com uso de anestésico para reduzir desconforto e irritação.

2.4 Proteção de mãos e pés

Proteções no formato de sapatos e luvas. Podem ser feitas de liga Cerrobend, folhas de chumbo ou material Plumbífero. São utilizadas, quando necessário, em parte do tratamento para reduzir a dose em mãos e pés — figura 1(c)

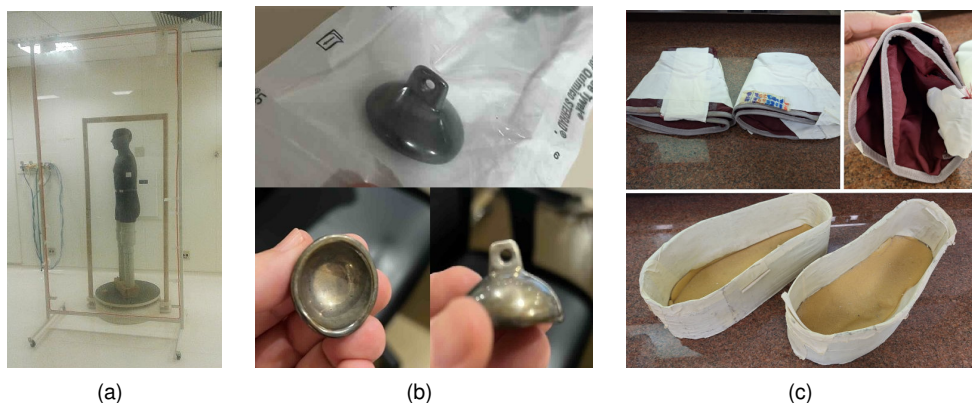


Figura 1: (a) Suporte imobilização para irradiação em toda pele com feixe de elétrons. (b) Blindagem ocular. (c) Blindagens para pés e mãos

2.5 Ficha Técnica

Documento utilizado para registrar as aplicações. Serve duplamente como registro e lista de verificação para garantir que as posições corretas são tratadas em cada aplicação. O sombreamento em cinza, e azul indica quais grupos de campos devem ser tratados em cada dia, alternadamente — figura 2.

Paciente:
Prontuário:

Posicionamento							
Paciente em pé sobre suporte de TSI / Placa de acrílico							
Região	AIT SUP / INF	OPD SUP / INF	OPE SUP / INF	Região	POST SUP / INF	OAD SUP / INF	OAE SUP / INF
Campo	1A / 2A	3A / 4A	5A / 6A	Campo	7A / 8A	9A / 10A	11A / 12A
Posição do Paciente				Posição do Paciente			
Y	40,0	40,0	40,0	Y	40,0	40,0	40,0
X	40,0	40,0	40,0	X	40,0	40,0	40,0
SSD (cm)	100 + 240	100 + 240	100 + 240	SSD (cm)	100 + 240	100 + 240	100 + 240
Gantry	252 / 288	252 / 288	252 / 288	Gantry	252 / 288	252 / 288	252 / 288
Colimador	180	180	180	Colimador	180	180	180
Mesa	180	180	180	Mesa	180	180	180
Acessório	HDTSI	HDTSI	HDTSI	Acessório	HDTSI	HDTSI	HDTSI
MEM	VERSAHD 6HDRE	VERSAHD 6HDRE	VERSAHD 6HDRE	MEM	VERSAHD 6HDRE	VERSAHD 6HDRE	VERSAHD 6HDRE
UM	107 / 107	107 / 107	107 / 107	UM	107 / 107	107 / 107	107 / 107
FISICO				FISICO			
Data do Tratamento							
1ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	16ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	18ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	20ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	22ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	24ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	26ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	28ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	30ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	32ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	34ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	36ª	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 2: Descrição da ficha de tratamento

2.6 Trena, e fita crepe

A trena é utilizada para medir a distância do isocentro até a superfície do paciente, e a distância entre o paciente e a placa espalhadora. A fita crepe pode ser necessária para auxiliar na imobilização de blindagens e dos dosímetros durante a dosimetria individual.

3 Funcionamento do modo HDRE no acelerador versa HD

3.1 Descrição do modo de alta taxa de dose.

O modo de alta taxa de dose do acelerador linear versa HD permite entregar taxas de dose mais altas. Um aplicador especial deve ser conectado na bandeja do gantry para liberação do feixe, limitando o tamanho de campo em 40x40cm. Um módulo dedicado de chave é empregado na liberação do feixe.

3.2 Conectando o aplicador de HDRE no cabeçote do gantry

- (a) Mova o gantry para uma posição segura.
- (b) Conecte o gancho de engate do aplicador na posição — figura 3(a).
- (c) Empurrar o aplicador para frente, e depois para cima até engatar a trava. — figuras 3(b) e 3(c). O sistema emitirá um som constante até que o aplicador esteja em posição.

3.3 Operação do sistema de chaveamento

- (a) Insira a chave no módulo de HDRE — figura 3(d).
- (b) Vire a chave para “HDRE AUTHORIZED”
 - O led verde “INSERT KEY” apaga
 - O led laranja “HDRE ENABLED” acende
- (c) Vire a chave para “HDRE ENABLED”
 - Um alarme sonoro tocar
 - O led verde “HDRE ENABLED” acende
 - O led laranja “HDRE AUTHORIZED” apaga
- (d) Solte a chave
 - A chave volta para posição “HDRE AUTHORIZED”
 - O led verde “HDRE ENABLED” permanece acesa
 - O modulo de HDRE emite um som curto
- (e) Entregue o feixe
 - O led verde “HDRE ENABLED” permanece acesa
 - O led amarelo “HDRE ON” acende.

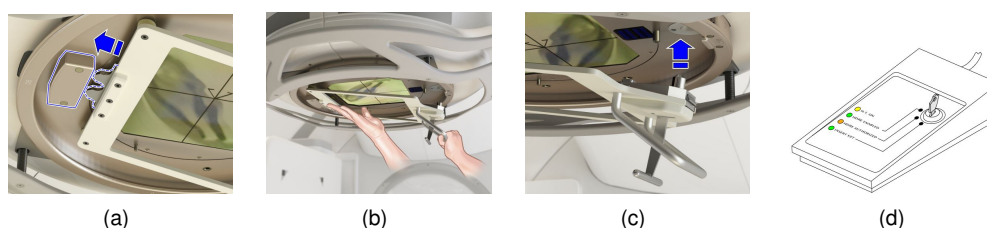


Figura 3: Operação do módulo de alta taxa de elétrons - Versa HD

4 Verificações pré-tratamento

4.1 Teste matinal do feixe de 6MeV HDRE

Antes da primeira aplicação o físico médico deve verificar o funcionamento do modo HDRE

Funcionamento: Localizar e conectar no equipamento aplicador de segurança do modo HDRE. Configurar um feixe, testar a chave de liberação e entregar um feixe de 6MeV HDRE.

Dosimetria diária: Realizar a dosimetria diária do feixe

- posicionar o daily QA com SSD = 100 cm na mesa de tratamento e posicionar gantry e colimador do colimador em 0°
- retirar o aplicador de segurança do modo HDRE (para liberar a configuração do tamanho do campo) - Entrar no modo de serviço
- Limitar o tamanho do campo em 15x15 cm para evitar irradiar a eletrônica do detector. Alguns intertravamentos do acelerador precisarão ser sobrepostos.
- Configurar e entregar 10 UM do feixe 6MeV HDRE. e avaliar a variação da constância de dose, simetria e planura do feixe com relação à leitura de referência.

Registro: Registrar no livro de controle de qualidade diário do acelerador.

4.2 Checagem de documentos e acessórios

Antes de chamar paciente, o técnico deve verificar que:

- (a) Suporte de imobilização do paciente e a placa degradadora estão na sala.
- (b) A proteção ocular esterilizada foi disponibilizada pela equipe de enfermagem.
- (c) A ficha técnica do paciente, digital e impressa estão disponíveis

5 Acompanhamento da 1ª Aplicação

5.1 Orientações ao paciente

O paciente é orientado quanto às diferentes posições assumidas durante o tratamento, a necessidade de sua cooperação e o tempo aproximado de cada sessão. A equipe da enfermagem deve orientar a respeito da proteção ocular.

5.2 Acompanhamento do posicionamento com físico e médico presentes.

O Físico Médico e o Radioterapeuta devem acompanhar a primeira aplicação. Os seguintes itens devem ser avaliados:

- (a) Condições gerais do paciente para executar as posições de tratamento
- (b) Avaliar estabilidade do paciente e risco de queda.
- (c) Conferir prescrição e fracionamento do tratamento.
- (d) Conferir parâmetros de tratamento, incluindo unidade monitora, ângulos de gantry e colimador.
- (e) Sanar qualquer dúvida que os operadores tenham durante a aplicação do tratamento

5.3 Registros

Os seguintes registros devem ser feitos

- (a) Registro fotográfico de cada uma das 6 posições do paciente, para servir de referência nas demais aplicações
- (b) Registrar a posição dos pés na plataforma deve ser registrada para cada uma das 6 posições usando uma folha de papel. (figura 4)
- (c) Registrar Risco de queda e dificuldades ao posicionamento do paciente na ficha técnica



Figura 4: Registro da posição dos pés na plataforma, em uma folha de papel.

5.4 Agendamento da dosimetria individual.

Na primeira aplicação deve-se agendar com os operadores a data que ocorrerá a dosimetria individual.

6 Tratamento diário

6.1 Preparação do paciente para posicionamento na plataforma

- A equipe de Enfermagem posiciona o protetor ocular, quando aplicável;
- Sempre mover o paciente até a plataforma em duas pessoas para reduzir risco de queda. Atenção especial se paciente estiver usando vendado com o protetor ocular.

6.2 Posicionamento dos campos 1, 2 e 3

Campo 1 (ANT): Posicionar o paciente de frente para o ganty, com os dois braços elevados, e as pernas afastadas, conforme mostrado na figura 5(ANTERIOR).

- Garantir que paciente esteja virado perfeitamente de frente para o gantry
- Verificar se altura do umbigo está próximo à altura do isocentro
- Desejável afastar pernas o suficiente para desencostar as coxas
- Braços elevados com cotovelos no mínimo a altura dos ombros
- Mãos abertas com os dedos juntos e palmas viradas para anterior

Campo 2 (OPE): Posicionar o paciente com o lado oblíquo posterior esquerdo voltado para o ganty, girado 60° com relação à incidência posterior do paciente com braço esquerdo elevado e o braço direito rebaixado conforme mostrado na figura 5(OPE).

- Braço esquerdo elevado com cotovelos no mínimo a altura do ombro
- Mão esquerda com os dedos juntos e palma voltada para anterior
- Mão direita com os dedos juntos e palma voltada para posterior
- Alinhar o paciente com luz de campo/lasers.
- Manter pés ancorados, girando na mesma posição.

Campo 3 (OPD): Posicionar o paciente com o lado oblíquo posterior DIREITO voltado para o ganty, girado 60° com relação à incidência posterior do paciente com braço direito elevado e o braço esquerdo rebaixado conforme mostrado na figura 5(OPD).

- Braço direito elevado com cotovelos no mínimo a altura do ombro
- Mão direita com os dedos juntos e palma voltada para anterior
- Mão esquerda com os dedos juntos e palma voltada para posterior
- Alinhar o paciente com luz de campo/lasers.
- Manter pés ancorados, girando na mesma posição.

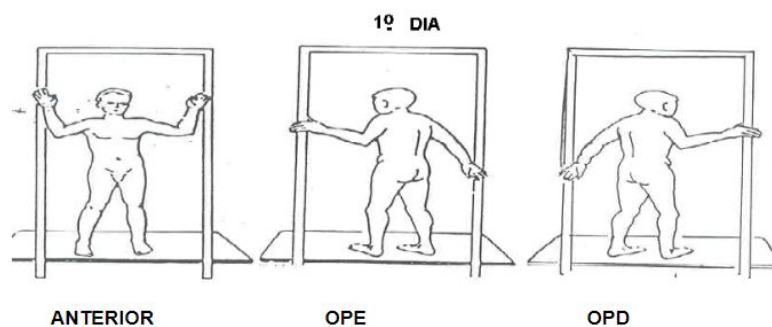


Figura 5: Campos tratados segundas e quartas feiras.

**Dica:**

Nos campos oblíquos, utilizar o laser e centro do campo luminoso como referência ao girar paciente 60º, alinhando com o mamilo de um lado e a escapula contralateral do outro.

6.3 Posicionamento dos campos 4, 5 e 6

Campo 4 (POST): Posicionar o paciente de costas para o gantny, com os dois braços elevados, e as pernas afastadas, conforme mostrado na figura 6(ANTERIOR).

- Garantira que paciente esteja virado perfeitamente de costas para o gantry
- Verificar se altura do umbigo está próximo à altura do isocentro
- Desejável afastar pernas o suficiente para desencostar as coxas
- Braços elevados com cotovelos no mínimo a altura dos ombros
- Mãos abertas com os dedos juntos e palmas viradas para anterior

Campo 5 (OAE): Posicionar o paciente com o lado oblíquo anterior esquerdo voltado para o gantny, girado 60º com relação à incidência anterior do paciente com braço direito elevado e o braço esquerdo rebaixado conforme mostrado na figura 6(OAE).

- Braço direito elevado com cotovelos no mínimo a altura do ombro
- Mão direita com os dedos juntos e palma voltada para anterior
- Mão esquerda com os dedos juntos e palma voltada para posterior
- Alinhar o paciente com luz de campo/lasers.
- Manter pés ancorados, girando na mesma posição.

Campo 3 (OAD): Posicionar o paciente com o lado oblíquo Anterior Direito voltado para o gantny, girado 60º com relação à incidência posterior do paciente com braço esquerdo elevado e o braço direito rebaixado conforme mostrado na figura 6(OAD).

- Braço esquerdo elevado com cotovelos no mínimo a altura do ombro
- Mão esquerda com os dedos juntos e palma voltada para anterior
- Mão direita com os dedos juntos e palma voltada para posterior
- Alinhar o paciente com luz de campo/lasers.
- Manter pés ancorados, girando na mesma posição.

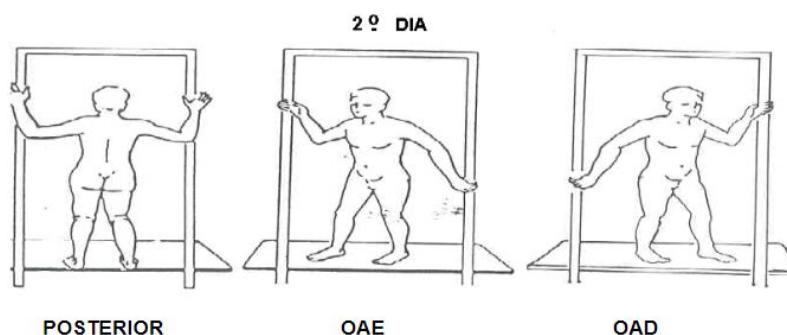


Figura 6: Campos tratados terças e quintas-feiras.

6.4 Materiais de proteção: blindagens de pés e mãos

Caso o paciente utilize blindagens nos pés, mãos ou rosto, posicionar a blindagem conforme indicado pelo radioterapeuta e físico.

6.5 Posicionamento da distância de tratamento e da placa degradadora.

- (a) Utilizar os lasers da sala para alinhamento e auxiliar no posicionamento.
- (b) Com a fita métrica medir a distância do isocentro do aparelho ao raio central do paciente (umbigo), que deve ser de 2,4 m. totalizando 3,4 m.
- (c) Mover a plataforma se necessário até e refazer a medida até atingir a distância.
- (d) Com a fita métrica, posicionar a placa degradadora de 1 cm a uma distância de 30 cm da superfície do paciente.

6.6 Seleção do feixe e parâmetros de tratamento de cada feixe

Os campos de tratamento devem ser escolhidos dentro do sistema de gerenciamento Mosaik. O operador deve verificar:

- (a) Comparar os valores de ângulo de gantry, colimador, energia e unidade monitora apresentados no console com os registrados na ficha técnica.
- (b) Conferir na ficha técnica, (figura 2) se os nomes dos campos do Sistema de Gerenciamento coincidem com os indicados na ficha técnica para tratamento no dia.
- (c) Avisar físico em caso de qualquer dúvida ou divergência.

6.7 Registro do tratamento

O registro do tratamento deve ser feito em campo próprio na ficha técnica (figura 2).

6.8 Acompanhamento de reações (enfermagem/Operadores)

Quando o paciente começar a apresentar reação de pele, o médico deverá avaliar a necessidade de se utilizar chumbo de proteção, principalmente nas extremidades (p.ex. pés e mãos).

7 Dosimetria in vivo e prescrição do reforço de dose (*boost*)

A dosimetria individual deve ser realizada em todos os pacientes até a 3 aplicação.

7.1 Posicionamento dos detectores

No mínimo os pontos indicados na figura 7 devem ser medidos. Medidas adicionais podem ser necessárias, devido a características anatômicas de cada paciente, sempre que houver uma dúvida com relação à dose recebida naquele ponto.

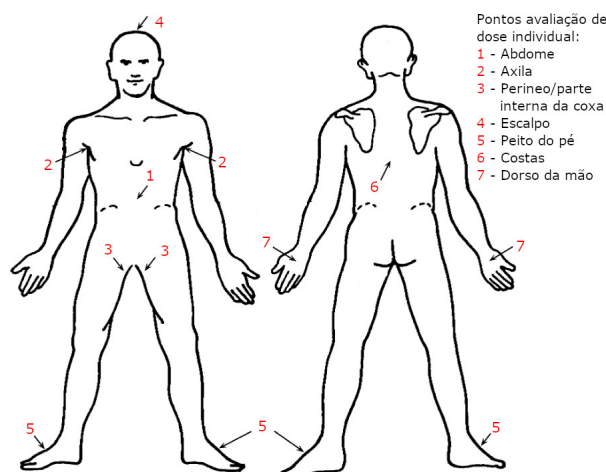


Figura 7: Croqui ilustrando os pontos padronizados para realização da dosimetria in vivo.

7.2 Avaliação dos resultados

- Investigação deve ser conduzida caso os valores medidos difiram significativamente da referência histórica (tabela 1).
- Resultados da dosimetria individual devem ser encaminhado ao oncologista. Regiões sub dosadas, como axila, períneo, solas dos pés e escalpo podem ser tratadas com um reforço de elétrons de 6MeV, a critério médico.
- Áreas super dosadas são bloqueadas quando necessário em resposta a sintomas. O uso de blindagem, quando indicado, deve ser registrado na ficha técnica.

Tabela 1: Valores de referência para os pontos padrão de medidas na dosimetria individual

Ponto Medida	Dose Média (% da dose prescrita)	Faixa de dose (% da dose prescrita)
Abdomen	100 ± 4	91 – 106
Axilas	60 ± 25	3 – 105
Períneo ou parte interna da coxa	59 ± 23	7 – 93
Escapo (vértex)	87 ± 20	89 – 120
Peito do pé	117 ± 7	102 – 32
Costas	93 ± 7	76 – 105
Dorso da mão	85 ± 6	71 – 97

Fonte: Extraído de (ANTOLAK et al., 1998).

APÊNDICE B – Modelo de planilha utilizado para coleta de dados FMEA

A planilha a seguir, criada para coleta de dados para realização do FMEA, é composta por 5 páginas:

- **Introdução:** Explica sobre o preenchimento da planilha
- **Diagrama do Mapa Inicial do processo:** Visualização gráfica do mapeamento inicial do processo
- **Modos de falha:** Levantamento inicial dos modos de falha — pode sugerir novos processos e modos de falha nessa planilha
- **Ocorrência/Severidade/Detectabilidade:** Guia para classificar de 1-10 nessas categorias
- **FMEA:** Para cada modo de falha já mapeado, classificar a Ocorrência, Severidade e Detectabilidade

Bem vindo a planilha de FMEA

Esta Planilha é usada para que?

1. Identificar modos de falha potencial e seus impactos
2. Ordenar os efeitos potenciais para estabelecer uma ordem de prioridade - os valores de RPN maiores merecem mais atenção
3. Registrar responsáveis, planos de ação e status em itens com alto RPN

Nota: FMEA são documentos vivos e devem ser atualizados periodicamente

Organização da planilha:

Introdução - Explica sobre o preenchimento da planilha

Diagrama do Mapa Inicial Processo- Visualização gráfica do mapeamento inicial do processo

Modos de falha- Levantamento inicial dos modos de falha - pode sugerir novos processos e modos de falha nessa planilha

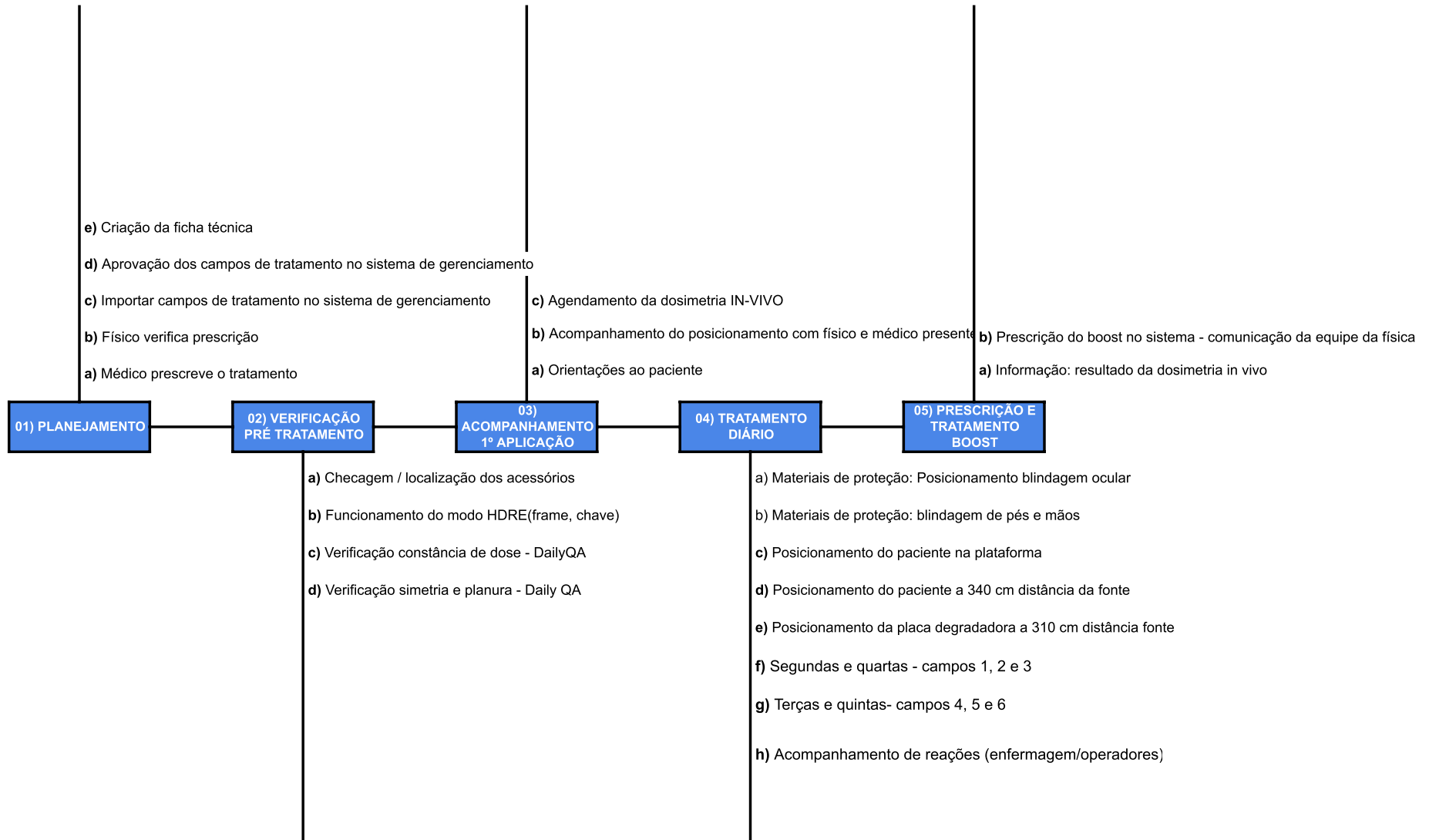
Ocorrência/Severidade/Detectabilidade- Guia para classificar de 1-10 nessas categorias

FMEA - Para cada modo de falha já mapeado, classificar a Severidade, detectabilidade e Severidade do erro de acordo com a tabela de classificação

Proteção da Planilha

Algumas células podem estar protegidas - não tem password.

A p



Etapa do processo	Tarefa	Modo de falha potencial	Efeitos da falha potencial	
1)Planejamento	1a) Médico prescreve o tratamento			
	1b) Fisico verifica prescrição			
	1c) importar campos de tratamento no sistema de gerenciamento		Parâmetros errados - UM, gantry, colimador, tamanho de campo, energia	Dose errada
			Nem todos os campos criados no sistema de gerenciamento Mosaik	Dose errada
	1d) Aprovação dos campos de tratamento no sistema de gerenciamento			
	1e) Criação da ficha técnica	Usar modelos pré-preenchidos pode diferir da prescrição do paciente	Perda de tempo / confusão	
2) Verificação pré-tratamento	2a)Checagem/localização dos acessórios: Placa degradadora de acrílico, blindagem ocular, blindagem para dedos da mão, blindagem para os pés	Checagem não feita antes do paciente chegar	Perda de tempo. Adiamento da primeira aplicação	
		Acessórios não encontrados na hora da aplicação	Perda de tempo. adiamento da primeira aplicação	
	2b) Funcionamento do Modo HDRE: frame HDRE, e chave HDRE.	Proteção ocular não esterilizada (esterilização vencida)	Perda de tempo. adiamento da primeira aplicação	
		Não testado, feixe não funciona na primeira aplicação	Perda de tempo. adiamento da primeira aplicação	
	2c) Verificação Constância de dose - Daily QA	Não realização do teste leva a erro na dose entregue	Dose errada	
	2d) Verificação Simetria e planura - Daily QA		Não realização do teste leva piora na uniformidade de dose no paciente	Distribuição de dose errada
3) Acompanhamento primeira aplicação	3a) Orientações ao paciente	Informação insuficiente - falta de clareza	Demora na primeira aplicação	
	3b) Acompanhamento do posicionamento com fisico e médico presentes	Procedimento de baixa frequência - Fisico e médico não presentes levam a erro posicionamento	Distribuição de dose errada	
		Procedimento de baixa frequência - erro acessórios	Dose errada	
	3c) Agendamento da dosimetria IN-VIVO	Dosimetria IN-VIVO não realizada ou feita muito tarde	erro prescrição do boost atraso no uso de proteção regiões de alta dose	

Etapa do processo	Tarefa	Modo de falha potencial	Efeitos da falha potencial
4) Tratamento diário	4a) Materiais de proteção: blindagem ocular	Esquecer de usar proteção ocular Irritação ou alergia devido a proteção ocular	Limite de dose excedido
	4b) Materiais de proteção: blindagem de pés e mãos	Esquecer de usar proteção pés e mãos	Reações na pele mãos e pés
	4c) Posicionamento do paciente na plataforma	Paciente mal posicionado / orientado Roupa inadequada blinda o feixe	Queda do paciente Erro na dose / distribuição de dose
	4d) Posicionamento do paciente a 340 cm de distância da fonte	Suporte do paciente posicionado na distância errada	Erro na dose
	4e) Posicionamento da placa degradadora a 310 cm de distância da fonte	Tratamento sem placa degradadora Placa degradadora posicionada na distância errada	Erro gravíssimo na dose Erro distribuição de dose
	4f) Segundas e quartas - campos 1, 2 e 3	Posicionamento do paciente inadequado Rotação nos campos oblíquos inadequado ($\leq 60^\circ$ relativo ao ANT/POST) Nem todos os campos são entregues Campos de tratamento são irradiados mais do que uma vez	Pontos quentes ou frios Erro na distribuição de dose Erro na dose Erro na dose
	4g) Terças e quintas - campos 4, 5 e 6	Posicionamento do paciente inadequado Rotação nos campos oblíquos inadequado ($\leq 60^\circ$ relativo ao ANT/POST) Nem todos os campos são entregues Campos de tratamento são irradiados mais do que uma vez	Pontos quentes ou frios Erro na distribuição de dose Erro na dose Erro na dose
	4h) Acompanhamento semanal enfermagem/operadores	Falha/atraso na identificação de reações Falha/atraso na comunicação das reações a equipe da física	Reações na pele / interrupção do tratamento Reações na pele / interrupção do tratamento
5) PRESCRIÇÃO E TRATAMENTO BOOST	5a) Informação - Resultado da dosimetria IN-VIVO	Medidas erradas levam a prescrição errada	Erro na dose
	5b) Prescrever: Regiões de boost, Dose/Fracionamento, Energia	Nem todas as regiões de reforço são incluídas na prescrição digital	Erro na dose

Ranking	Ocorrência (O)		Severidade (S)		Detectabilidade (D)		Ranking
	Probabilidade de falha	Frequência %	Efeito	Severidade do Efeito	Deteccção	Probabilidade de da falha NÃO ser detectada	
10	Muito Alta: Falhas quase inevitáveis	>5	CATASTRÓFICO	Dose, dose distribuição, localização ou volume MUITO ERRADO	QUASE CERTA	>20%	10
9	Alta: Falhas frequentes	<5	MUITO ALTO		MUITO ALTA	20%	9
8		<2	ALTO	Dose, dose distribuição, localização ou volume ERRADO	ALTA	15%	8
7	Moderado: Falhas ocasionais	<1			MODERADAMENTE ALTA	10%	7
6		<0,5	LIMITADO	MODERADA	5%	6	
5	<0,2	BAIXA		2%	5		
4	Baixo: Relativamente poucas falhas	0,1	MENOR	Plano e tratamento SUB-ÓTIMO	MUITO BAIXA	1%	4
3		0,05	INCONVENIÊNCIA	Inconveniente para o paciente ou equipe	REMOTA	0,50%	3
2	Remoto: Falha é improvável	0,02			MUITO REMOTA	0,20%	2
1		0,01	Nenhum	Nenhum efeito	NEGLIGÍVEL	0,01%	1

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Ensino
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária CEP: 05508-000
Fone (11) 2810-1570 ou (11) 2810-1572
SÃO PAULO – São Paulo – Brasil
<http://mprofissional.ipen.br>

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) é uma Autarquia vinculada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Governo do Estado de São Paulo e gerida técnica e administrativamente pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), órgão do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) do Governo Federal.