XXIX SEPE
Simpósio de Ensino, Pesquisa e Extensão
Teaching, Research and Extension Symposium
Presente e futuro:
uso consciente da Inteligência Artificial
Today and tomorrow:
the conscious use of Artificial Intelligence
E-book
ISBN 978-65-5852-415-1
20 A 22 DE OUTUBRO DE 2025
OCTOBER 20th to 22nd, 2025
UFN Universidade Franciscana Franciscan University
DOI: https://doi.org/10.48195/sepe2025.30189

IRRADIAÇÃO CORPORAL TOTAL: COMPARAÇÃO ENTRE TÉCNICAS 2D E VMAT

Luísa Vargas Cassol[1]*; Adrine Silveira da Silva[2]; Nathalia Mundt Bonadeo[3]; Thiago Victorino Claus[4]

RESUMO

A irradiação corporal total é parte fundamental do condicionamento para transplante de medula óssea, tradicionalmente realizada por técnicas bidimensionais, amplamente disponíveis e de execução simples. Contudo, essa abordagem apresenta limitações quanto à homogeneidade da dose e à proteção de órgãos de risco, exigindo compensadores manuais e estimativas pontuais de dose. A evolução tecnológica possibilitou o desenvolvimento de técnicas conformacionais como a arcoterapia volumétrica modulada por intensidade, que oferece planejamento individualizado, maior consistência dosimétrica e redução de dose em órgãos críticos, minimizando toxicidades agudas e tardias. Esta revisão integrativa analisou nove artigos publicados entre 2018 e 2024, comparando a irradiação corporal total bidimensional e a irradiação corporal total por arco modulada por intensidade. Os achados indicam que a arcoterapia volumétrica modulada por intensidade proporciona melhor cobertura do volume-alvo, uniformidade de dose, conforto ao paciente e viabilidade de automação do planejamento, sem comprometer a eficácia terapêutica. Estudos clínicos destacam diminuição de eventos adversos, incluindo pneumonite, nefrotoxicidade e mucosite severa, sobretudo em regimes mieloablativos e em pacientes pediátricos. Apesar dos benefícios, a técnica por arco requer infraestrutura avançada, múltiplos isocentros e treinamento especializado. Assim, a técnica bidimensional permanece relevante em centros com recursos limitados, enquanto a técnica por arco desponta como alternativa moderna, segura e eficaz, com potencial para padronização futura e individualização da dose. A revisão reforça a importância do relatório da *American Association of Physicists in Medicine* em seu relatório número 17 como referência clássica e destaca a expectativa pelas futuras diretrizes técnicas para TBI do grupo de trabalho número 379, que devem consolidar novas práticas para o TBI convencional. Além disso, a implementação de programas baseados em radioterapia com intensidade modulada exige comissionamento, garantia de qualidade contínua, procedimentos clínicos de rotina, gestão de pessoal, capacitação, avaliações por pares e análise de riscos, assegurando segurança e eficácia terapêutica.

Palavras-chave: Homogeneidade de dose, Toxicidade, Planejamento, Radioterapia

[1] Acadêmica de física médica, Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: luisacassol@gmail.com ORCID: 0009-0003-3130-4453

[2] Bacharel em Física Médica, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: adrines.0403@gmail.com ORCID: 0009-0008-8186-8026

[3] Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Nanociências, Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: nathaliabonadeo8@gmail.com ORCID: 0009-0001-6520-6670

[4] Professor dos cursos de Graduação de Física Médica e Radiologia da Universidade Franciscana (UFN)/Hospital Universitário de Santa Maria (HUSM), Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: clausrx@gmail.com ORCID: 0000-0003-1446-0721

INTRODUÇÃO

A Irradiação de Corpo Inteiro (Total Body Irradiation - TBI), realizada com feixes de fótons de megavoltagem, constitui uma modalidade de radioterapia (RT) empregada no regime de condicionamento para transplante de medula óssea. Seu propósito principal é promover a erradicação das células-tronco hematopoéticas, eliminar células leucêmicas residuais e induzir imunossupressão, fatores determinantes para o sucesso terapêutico (Ravichandran et al., 2011).

A RT convencional, também chamada de RT bidimensional (2D), é utilizada desde os primórdios desta técnica. Nessa técnica, Volume Alvo de Planeamento (*Planning Target Volume* - PTV)e dos órgãos de risco é realizado a partir de radiografias obtidas na posição de tratamento do paciente, seja com o próprio equipamento de RT ou com simuladores baseados em tubos de raios X convencionais (Morikawa; Ferreira, 2018). Os planos geralmente envolvem dois a quatro campos paralelos e opostos, que convergem para distribuir a dose prescrita ao volume-alvo. Entretanto, como não se conhece a localização exata dos órgãos internos, a dose precisa ser estimada em pontos de interesse, de acordo com cada caso (AAPM Report No. 17, 1986).

Com o avanço tecnológico, a RT evoluiu para métodos mais precisos, permitindo a definição do volume tumoral e dos órgãos adjacentes por meio de imagens transversais fornecidas pela tomografia computadorizada (TC). Essa evolução possibilitou o desenvolvimento da RT tridimensional conformada (*Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy* - 3DCRT), na qual os campos de irradiação se conformam ao formato do alvo pelo advento do movimento de colimador multilâminas (MLC). A introdução de ferramentas como os histogramas dose-volume (*Dose Volume Histogram* - DVH) e o planejamento sob a perspectiva do feixe (*Beam's Eye View* - BEV) ampliou a capacidade de análise da cobertura do tratamento e da proteção dos tecidos normais (Salvajoli, 2013).

A 3DCRT estabeleceu as bases para técnicas mais avançadas, como a RT de intensidade modulada (*Intensity Modulated Radiation Therapy* - IMRT), capaz de modular a intensidade do feixe para otimizar a distribuição da dose e reduzir a toxicidade em órgãos de risco. A evolução de softwares de planejamento e aceleradores lineares possibilitou o desenvolvimento da arcoterapia volumétrica modulada por intensidade (Volumetric Modulated Arc Therapy - VMAT), uma forma de IMRT que utiliza arcos de tratamento e permite variação dinâmica de parâmetros, como a velocidade do gantry e a taxa de dose. Associada à RT guiada por imagem (*Image-Guided Radiation Therapy* - IGRT), que utiliza tomografia computadorizada de feixe cônico (*Cone Beam Computed Tomography* - CBCT) para corrigir a posição do paciente, a VMAT aumentou a precisão, permitiu reduzir margens de segurança e elevou a dose no alvo, diminuindo a toxicidade (Morikawa; Ferreira, 2018).

No contexto da irradiação corporal total (*Total Body Irradiation* - TBI), a introdução da VMAT representa uma alternativa promissora frente à técnica convencional em 2D, viabilizando a individualização da dose e a mitigação de toxicidades (Kovalchuk et al., 2021). Comparar as duas abordagens é fundamental para compreender suas vantagens, limitações e viabilidade clínica. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise comparativa entre a TBI convencional em 2D e a TBI planejada com VMAT. Especificamente, busca-se descrever as características técnicas de cada técnica, avaliar seus pontos fortes e limitações em relação à uniformidade de dose, ao tempo de tratamento e à proteção de órgãos de risco, além de discutir a aplicabilidade prática de cada uma no contexto clínico.

METODOLOGIA

O presente estudo configura-se como uma revisão integrativa da literatura, cujo eixo central de investigação é a Irradiação Corporal Total (Total Body Irradiation - TBI), analisada nas técnicas bidimensional (2D) e Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT). A busca bibliográfica foi conduzida na base de dados Web of Science, utilizando-se o operador booleano "AND" para a combinação dos descritores, em língua inglesa, "Total Body Irradiation", "TBI", "Volumetric Modulated Arc Therapy", "VMAT" e "2D TBI". Foram adotados como critérios de inclusão:

- Artigos publicados entre 2015 e 2024;
- Redigidos em língua inglesa;
- Que abordassem de forma integral e comparativa os objetivos propostos, especialmente a aplicação das técnicas 2D e VMAT na TBI.

Adicionalmente, artigos complementares foram identificados por meio de buscas manuais em fontes digitais especializadas, de modo a ampliar a abrangência temática. Inicialmente, foram identificados 71 artigos na base de dados. Após a leitura dos títulos e resumos, foram excluídos os trabalhos que não abordavam diretamente a TBI nas técnicas 2D ou VMAT, além de duplicatas e publicações sem acesso ao texto completo. Com a aplicação dos critérios de inclusão, a amostra foi reduzida a quatro estudos principais. Em seguida, realizou-se uma busca complementar manual (método snowballing) nas referências dos artigos selecionados e em literatura especializada, incluindo revisões sistemáticas e publicações correlatas. Essa estratégia visou mitigar limitações decorrentes dos descritores iniciais, assegurando maior abrangência e representatividade temática.

Por meio dessa etapa complementar, foram agregados cinco novos artigos que atenderam aos mesmos critérios de inclusão. Além disso, outros quatro estudos relevantes foram identificados por meios adicionais, como a análise das referências citadas e a exploração de literatura especializada.

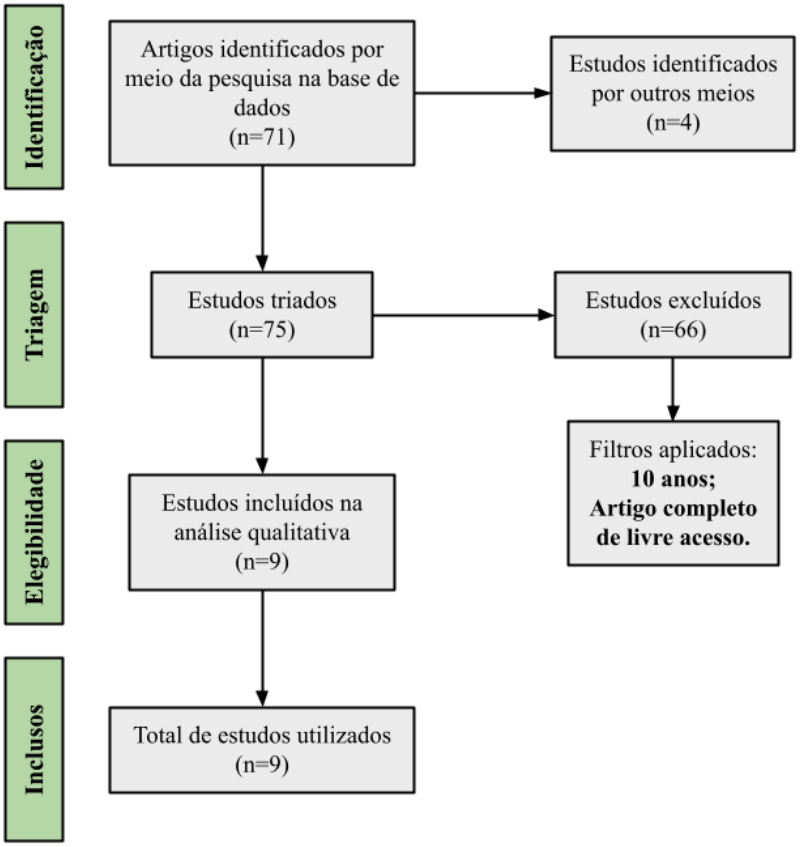
Ao término do processo de triagem e seleção, a amostra final da revisão foi composta por nove artigos, os quais fundamentaram a análise comparativa apresentada neste estudo. O processo de seleção encontra-se representado no fluxograma da Figura 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca conduzida com os descritores previamente definidos resultou na identificação de 71 publicações nas bases de dados consultadas. Após a análise preliminar dos títulos e resumos, quatro estudos foram considerados elegíveis por apresentarem relevância técnica e clínica na comparação entre as diferentes modalidades de Irradiação Corporal Total (TBI). Em seguida, a partir de uma revisão complementar da literatura e da análise das referências bibliográficas dos estudos inicialmente selecionados, foram identificados cinco artigos adicionais que também atenderam aos critérios de inclusão, totalizando nove trabalhos na amostra final (Figura 1).

Para assegurar a atualidade e a consistência das evidências, foram incluídas apenas publicações disponíveis em texto completo, de acesso aberto, e publicadas a partir de 2015, abrangendo análises experimentais, estudos comparativos e revisões sistemáticas diretamente relacionadas ao tema investigado.

Figura 1 - Fluxograma da seleção dos estudos.



Para melhor avaliação dos resultados, os artigos que compuseram a pesquisa foram organizados em ordem crescente, identificados pelo título, autor, data e os principais dados para extrair as informações pertinentes necessárias para esta investigação.

Tabela 1 - Estudos realizados na última década.

ID	TÍTULO (AUTOR, DATA)	RESULTADOS
A1	Extended SSD VMAT treatment for total body irradiation (Pierce et al., 2018)	O trabalho apresenta o desenvolvimento de uma técnica de TBI utilizando arco terapêutico, *spoiler* de acúmulo e movimento de MLC inversamente otimizado para proteção de órgãos de risco. O método, validado em distância fonte-superfície estendida (175 cm), emprega 7-8 arcos de VMAT em posições supina e prona, com leito personalizado e *spoiler* acrílico de 1 cm para aumentar a dose de superfície. A otimização baseada em TC do paciente resultou em maior homogeneidade de dose e redução de toxicidade, comprovada em 109 pacientes tratados. As medições dosimétricas mostraram diferenças inferiores a 2% em profundidade, desvios máximos de 1,3% nos perfis, taxas de aprovação gama acima de 90% e dose de superfície acima de 90% da prescrição.
A2	Gonadal-sparing Total Body Irradiation (TBI) Using a VMAT Technique: Preliminary Report in Both Genders (Blomain et al, 2020)	O estudo relatou a aplicação bem-sucedida da técnica de irradiação corporal total com arco modulado volumétrico visando a preservação gonadal em pacientes pediátricos com anemia aplástica submetidos a transplante de células-tronco. Foram gerados planos VMAT com três

		isocentros, cobrindo todo o corpo com dose prescrita de 2 Gy, e simulados planos 2D para comparação. No paciente masculino, o VMAT reduziu significativamente a dose testicular (máx. 35,9% e média 22,3% da prescrição) em relação ao plano 2D (máx. 78% e média 67,8%), mantendo cobertura integral do PTV. Na paciente feminina, os ovários receberam dose máxima de 43,9% e média de 32,4% da prescrição.
A3	Improved Organ Sparing with Autoplanned VMAT TBI (Kovalchuk et al., 2021)	O estudo avaliou as diferenças dosimétricas entre a irradiação corporal total com arco modulado volumétrico e a técnica convencional 2D AP/PA em dez pacientes pediátricos tratados entre 2019 e 2020. Os planos VMAT, gerados por *script* automatizado, foram comparados com planos 2D simulados, considerando métricas como cobertura do PTV, $D_{máx}$ global e doses em órgãos de risco. A técnica VMAT proporcionou redução significativa da dose média pulmonar (-25,6%) e pulmonar contraída em 1 cm (-34,1%), além de maior preservação de rins, gônadas, cérebro e tireoide, que receberam a dose integral nos planos 2D.
A4	Automatic treatment planning for VMAT-based total body irradiation using Eclipse scripting (Teruel et al., 2021)	Este trabalho propõe uma abordagem automatizada para o planejamento de TBI baseado em VMAT com múltiplos isocentros. Foram utilizadas cinco imagens de corpo inteiro de pacientes anonimizados, e desenvolvido um *script* na API do Varian Eclipse v15.6 para padronizar o processo. O PTV foi definido como todo o corpo recortado a 5 mm da superfície e expandido 3 mm em pulmões e rins. Dois regimes de dose foram avaliados (1200 cGy e 1320 cGy em 8 frações), calculados com AAA e fótons de 6 MV. A validação foi feita em fantoma antropomórfico com uso de 12 dosímetros, por luminescência opticamente estimulada - OSLDs, apresentando desvio entre dose planejada e medida dentro de ±4%. Os resultados dosimétricos mostraram adequada cobertura do PTV (V100% \~94-95%), controle de doses médias pulmonares (\~760-800 cGy) e renais (\~1050-1060 cGy), além de cumprimento dos objetivos de dose máxima. Conclui-se que o uso de *scripting* permite gerar planos de alta qualidade de forma padronizada e com menor tempo de planejamento, automatizando etapas como contorno, criação de campos, posicionamento de isocentros e definição de objetivos de otimização.
A5	Volumetric Modulated Arc Therapy Enabled Total Body Irradiation (VMAT-TBI): Six-year Clinical Experience and Treatment Outcomes (Zhang-Velten et al., 2022)	O estudo retrospectivo de centro único apresenta a experiência clínica de seis anos com a técnica de VMAT-TBI em pacientes submetidos a transplante alogênico de células-tronco hematopoiéticas. Foram avaliados 44 pacientes tratados entre 2014 e 2020, dos quais 73% receberam dose padrão (12-13,2 Gy em 6-8 frações) e 27% dose baixa (2-4 Gy em fração única). A estratégia de planejamento desenvolvida garantiu cobertura adequada do volume-alvo (>90%), dose média pulmonar de 50-75% da dose prescrita e mínimos pontos de superaquecimento em órgãos críticos, com tempo médio de entrega de 72 minutos. Após seguimento

		mediano de 26 meses, a sobrevida global em 1 e 2 anos foi de 90% e 79%, respectivamente, enquanto a sobrevida livre de recaída foi de 88% e 71%. As toxicidades de grau ≥3 mais frequentes foram mucosite (71%) e nefrotoxicidade (13%), em geral multifatoriais, além de pneumonite em 9% dos casos de dose padrão, sendo apenas 2% atribuída à radiação.
A6	Feasibility and Toxicity of Full-Body Volumetric Modulated Arc Therapy Technique for High-Dose Total Body Irradiation. (Keit et al., 2023)	O estudo descreve um protocolo institucional para realização de TBI de alta dose inteiramente com VMAT e compara retrospectivamente seus resultados dosimétricos com planos de tomoterapia helicoidal (TH). Foram analisados 31 pacientes, sendo 26 tratados com VMAT e 5 com HT, utilizando múltiplos isocentros e registros deformáveis para sincronizar doses entre orientações HFS e FFS. Todos os planos atenderam às restrições de dose e órgãos de risco, com VMAT apresentando menor dose pulmonar (7,4 vs. 7,7 Gy; p = 0,009) e significativa redução de dose à mucosa orofaríngea (6,9 vs. 14,1 Gy; p = 0,009), evitando novas mortes por mucosite. O método mostrou-se capaz de atingir as metas de dose, reduzir heterogeneidades e possibilitar preservação seletiva de órgãos críticos em qualquer instituição equipada com acelerador linear compatível com VMAT.
A7	Volumetric modulated arc therapy total body irradiation improves toxicity outcomes compared to 2D total body irradiation. (Hui et al., 2024)	O estudo retrospectivo comparou 200 pacientes submetidos à irradiação corporal total pelas técnicas VMAT e 2D entre 2014 e 2023. Cem pacientes foram tratados com cada técnica, em regimes mieloablativos e não mieloablativos. A técnica VMAT-TBI demonstrou maior preservação de órgãos, com redução significativa da dose pulmonar, renal e de cristalino, além de menores taxas de pneumonite, nefrotoxicidade, toxicidade cutânea, náusea e GVHD em comparação à 2D-TBI, especialmente nos regimes mieloablativos.
A8	A Comparison of Planned Dose in TBI VMAT Treatment with Dosimetry UsingPortal Dosimetry® and IBA MatriXX® (Sousa et al., 2024)	O estudo aborda o papel da TBI no transplante de medula óssea, destacando sua importância na erradicação de doenças residuais e na imunossupressão para reduzir o risco de rejeição do enxerto. A pesquisa avalia a eficácia do VMAT em TBI por meio da comparação entre a dose planejada e a medida em sistemas de controle de qualidade, como o MatriXX FFF (IBA) e o Portal Dosimetry (acelerador VitalBeam). A pesquisa avalia a eficácia do VMAT em TBI por meio da comparação entre a dose planejada e a medida em sistemas de controle de qualidade, como o MatriXX FFF (IBA) e o Portal Dosimetry (acelerador VitalBeam). Embora a técnica tradicional utilize campos grandes, associados a maior toxicidade em órgãos de risco, a radioterapia por arco modulada volumetricamente surge como alternativa promissora, permitindo otimização de dose, uso de espaços menores e redução da exposição dos OARs, com potencial de melhorar a qualidade de vida e reduzir custos.
A9	Technical recommendations for implementation of Volumetric	Este texto destaca a transição progressiva da TBI convencional para técnicas conformacionais com

Modulated Arc Therapy and Helical Tomotherapy Total Body Irradiation (Seravalli et al., 2024)	múltiplos isocentros, como a VMAT e a tomoterapia helicoidal, no preparo mieloablativo de pacientes candidatos a transplante alogênico de células-tronco hematopoiéticas. Essas abordagens modernas permitem maior homogeneidade e precisão na dose prescrita, além de oferecer flexibilidade para a proteção individualizada de órgãos de risco. Contudo, o planejamento técnico dessas modalidades é complexo e deve ser cuidadosamente estruturado. Para auxiliar centros que desejam implementar a TBI conformacional e promover a padronização das práticas, um grupo de pioneiros com experiência em diferentes equipamentos e sistemas de planejamento reuniu-se para desenvolver recomendações técnicas e compartilhar suas experiências.

Fonte: a autora (2025)

A análise dos artigos selecionados evidencia uma transição progressiva da TBI convencional em 2D para técnicas conformacionais baseadas em arco, como o VMAT e a tomoterapia helicoidal. Em linhas gerais, todos os estudos relatam melhora na homogeneidade de dose, maior preservação de órgãos de risco e redução da toxicidade associada quando comparadas à técnica 2D tradicional.

Nos estudos de Blomain et al. (2020) e Kovalchuk et al. (2021), destaca-se a preservação gonadal e a redução significativa da dose pulmonar em pacientes pediátricos, apontando para benefícios clínicos de longo prazo, como a diminuição da toxicidade reprodutiva e respiratória. O estudo de Keit et al. (2023) corrobora esse achado ao mostrar que a técnica VMAT, além de alcançar adequada cobertura do alvo, reduziu a dose em mucosa orofaríngea, prevenindo toxicidades graves como mucosite severa. Já Hui et al. (2024), com uma análise de 200 pacientes, demonstrou de forma robusta a redução de eventos adversos, como pneumonite e nefrotoxicidade, especialmente em regimes mieloablativos.

Do ponto de vista técnico, os trabalhos de Pierce et al. (2018), Seravalli et al. (2024) e Teruel et al. (2021) enfatizam a complexidade do planejamento e a necessidade de protocolos bem estruturados. Pierce et al. (2018) mostram que, mesmo em distâncias fonte-superfície estendidas, a técnica pode ser implementada com segurança e boa reprodutibilidade dosimétrica. Seravalli et al. (2024) apresentam recomendações práticas para padronização e implementação da TBI conformacional, enquanto Teruel et al. (2021) demonstram que o uso de scripting automatizado pode reduzir a variabilidade interplanejadores e aumentar a eficiência do processo.

A experiência clínica de longo prazo é evidenciada por Zhang-Velten et al. (2022), que avaliaram seis anos de tratamento com VMAT-TBI, mostrando taxas de sobrevida global e livre de recaída compatíveis com a literatura internacional, além de toxicidades aceitáveis. Finalmente, o estudo brasileiro de Sousa et al. (2024) destaca a viabilidade da técnica em nosso contexto, validando a precisão dosimétrica do VMAT-TBI por meio de diferentes sistemas de controle de qualidade, o que reforça seu potencial de aplicação em centros nacionais.

A Tabela 2 apresenta o resumo comparativo dos principais achados, em síntese, os trabalhos analisados indicam que o VMAT-TBI representa uma alternativa viável e segura à técnica convencional 2D, com vantagens dosimétricas consistentes, menor toxicidade e maior flexibilidade no planejamento. Contudo, a complexidade técnica do processo exige padronização, treinamento especializado e validação cuidadosa antes da incorporação ampla na prática clínica.

Tabela 2 - Resumo comparativo dos principais achados.

CARACTERÍSTICAS	2D	VMAT
Cobertura do alvo (PTV) e /Homogeneidade de dose	Menor homogeneidade, maior dependência de compensadores e geometria do paciente (A3, A7)	Alta cobertura (>90% V100%), melhor uniformidade, menor risco de pontos de sobre/superdosagem (A1, A5, A4)
Proteção de órgãos de risco (OARs)	Doses elevadas em OARs, geralmente próximas da dose prescrita (A3, A7)	Redução significativa da dose em pulmões, rins, cérebro, tireoide e gônadas (A2, A3, A6, A7, A5)
Toxicidade clínica	Maior toxicidade pulmonar, renal e cutânea; maior desconforto do paciente (A7)	Menores taxas de pneumonite, nefrotoxicidade, toxicidade cutânea e GVHD; redução da mucosite (A6, A7, A5)
Tempo de planejamento e entrega	Planejamento simples, mas com necessidade de compensadores/bloqueios; entrega rápida porém menos precisa (A3, A9)	Planejamento complexo, mas pode ser automatizado com scripting (A4); entrega em <100 min (A5)
Conforto do paciente	Exige longos posicionamentos em SSD estendida; desconforto maior (A3, A7)	Posição decúbito dorsal/ventral confortável, menos manuseio e menor tempo em sala (A3, A1, A5)
Aplicabilidade clínica	Amplamente utilizada pela simplicidade e baixo custo; ainda prevalente em centros sem infraestrutura avançada (A7, A9)	Segura e eficaz em adultos e pediátricos; aplicável em centros com aceleradores modernos (A2, A3, A6, A5, A9)

Fonte: a autora (2025)

A comparação entre a irradiação corporal total bidimensional e a irradiação corporal total por arco modulada por intensidade volumétrica evidencia um cenário de transição tecnológica nos serviços de radioterapia. A 2D-TBI, embora amplamente disponível e de execução relativamente simples, apresenta limitações importantes relacionadas à homogeneidade da dose e à proteção de órgãos de risco. A necessidade de compensadores, bloqueios manuais e salas amplas reforça a natureza operacionalmente mais trabalhosa desse método, além de expor o paciente a maior risco de toxicidades agudas e tardias.

Por outro lado, a VMAT-TBI representa uma abordagem mais sofisticada, caracterizada por maior complexidade de planejamento e necessidade de múltiplos isocentros, bem como softwares robustos para assegurar a qualidade da distribuição de dose. Apesar da demanda técnica, a automação por scripting contribui para tornar o processo mais eficiente, reduzindo o tempo de planejamento, padronizando resultados e possibilitando entregas em prazos compatíveis com a rotina clínica, geralmente em menos de 100 minutos.

A principal vantagem clínica da VMAT-TBI reside na maior consistência e precisão dosimétrica, assegurando cobertura homogênea mesmo em pacientes com anatomias complexas, como pediátricos e adultos com variações corporais significativas. A preservação dos órgãos é outro diferencial relevante, com redução expressiva na dose absorvida por pulmões, coração e outros tecidos críticos, resultando em menor toxicidade aguda e tardia. Esses aspectos repercutem diretamente na segurança do tratamento e no conforto do paciente, ampliando a qualidade global da terapia.

Embora tecnicamente mais exigente, a crescente padronização de protocolos, aliada ao avanço da automação, vem tornando a VMAT-TBI progressivamente mais viável em centros

com infraestrutura adequada. Assim, observa-se uma tendência clara de que a técnica venha a se consolidar como padrão de referência, especialmente diante dos benefícios clínicos associados à melhora dos desfechos e à redução de complicações graves.

Enquanto o AAPM Report No. 17 continua sendo uma referência fundamental para as práticas clássicas de TBI/2D, o AAPM Task Group 379 (TG-379), ainda em desenvolvimento, está elaborando diretrizes atualizadas para TBI, TMI (*Total Marrow Irradiation*) e TLI (*Total Lymphatic Irradiation*) com técnicas conformais modernas. Essa transição evidencia a necessidade de estudos comparativos como o presente, para informar práticas seguras e eficazes num cenário em evolução.

CONCLUSÃO

Os avanços tecnológicos em radioterapia demonstram que a técnica VMAT apresenta benefícios relevantes, especialmente na redução da dose pulmonar e, consequentemente, na diminuição da toxicidade aguda e tardia. No entanto, a técnica de TBI em 2D ainda se mantém amplamente empregada, sobretudo em instituições com recursos limitados, por sua simplicidade operacional e baixo custo. Dessa forma, a TBI em 2D continua sendo o padrão em muitos serviços, enquanto a VMAT se destaca como uma alternativa moderna, que possibilita maior individualização do tratamento e proteção a órgãos críticos. A decisão entre adotar uma ou outra técnica deve considerar a infraestrutura disponível, os recursos financeiros e a relação custo-benefício de cada instituição, buscando sempre o equilíbrio entre eficácia terapêutica, segurança do paciente e viabilidade prática.

REFERÊNCIAS

BLOMAIN, E. et al. Gonadal-sparing Total Body Irradiation (TBI) Using a VMAT Technique: Preliminary Report in Both Genders. **International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics**, v. 108, n. 3, p. e257, 2020.

HUI, C. et al. Volumetric modulated arc therapy total body irradiation improves toxicity outcomes compared to 2D total body irradiation. **Frontiers in Oncology**, v. 14, p. 1459287, 2024.

KEIT, E. et al. Feasibility and toxicity of full-body volumetric modulated arc therapy technique for high-dose total body irradiation. **Technology in Cancer Research & Treatment**, v. 22, 2023.

KOVALCHUK, N. et al. Improved Organ Sparing with Autoplanned VMAT TBI. **International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics**, v. 111, n. 3, p. e151, 2021.

MORIKAWA, L.; FERREIRA, C.G.M. **Radioterapia Contemporânea**. 1.ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2018.

PIERCE, G. et al. Extended SSD VMAT treatment for total body irradiation. **Journal of applied clinical medical physics**, v. 20, n. 1, p. 200-211, 2019.

RAVICHANDRAN, R. et al. Beam configuration and physical parameters of clinical high energy photon beam for total body irradiation (TBI). Physica Medica, v. 27, n. 3, p. 163-168, 2011.

SALVAJOLI, João Victor. Radioterapia em oncologia. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora MEDSI: Editora Médica e Científica Ltda, 2013.

SERAVALLI, E. et al. Technical recommendations for implementation of volumetric modulated arc therapy and helical tomotherapy total body irradiation. **Radiotherapy and Oncology**, v. 197, p. 110366, 2024.

SOUSA, J. et al. A Comparison of Planned Dose in TBI VMAT Treatment with Dosimetry Using Portal Dosimetry® and IBA MatriXX®. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 12, n. 4A (Suppl.), p. e2683-e2683, 2024.

TERUEL, J.R. et al. Automatic treatment planning for VMAT‐based total body irradiation using Eclipse scripting. **Journal of Applied Clinical Medical Physics**, v. 22, n. 3, p. 119-130, 2021.

VAN DYK, J.; GALVIN, J.M.; GLASGOW, G.P.; PODGORSAK, E.B. The physical aspects of total and half body photon irradiation. **AAPM Report No. 17**. AAPM, 1986.

ZHANG-VELTEN, E.R. et al. Volumetric modulated arc therapy enabled total body irradiation (VMAT-TBI): six-year clinical experience and treatment outcomes. **Transplantation and cellular therapy**, v. 28, n. 2, p. 113. e1-113. e8, 2022.

Este trabalho de acesso aberto está licenciado sob Creative Commons - Atribuição (CC BY 4.0).