

Radioterapia para Câncer de Mama: Análise da Técnica de Arcoterapia Volumétrica Híbrida

<https://doi.org/10.32635/2176-9745.RBC.2024v70n3.4711>

Radiotherapy for Breast Cancer: Analysis of the Hybrid Volumetric Arc Therapy Technique

Radioterapia del Cáncer de Mama: Análisis de la Técnica de Arcoterapia Volumétrica Híbrida

Tatiane Mayla Domingos Prandi¹; Herofen Zaias²; Charlene da Silva³; Juliana dos Santos Müller⁴; Patrícia Fernanda Dorow⁵

RESUMO

Introdução: A radioterapia é uma das estratégias de tratamento para a neoplasia de mama. Com o avanço das modalidades de tratamentos na radioterapia, como a radioterapia de intensidade modulada (IMRT) e a arcoterapia volumétrica modulada (VMAT), tornou-se possível entregar doses de radiação diminuindo as margens de tratamento e melhorando a conformação da radiação ao volume-alvo. **Objetivo:** Analisar quantitativamente uma técnica híbrida de radioterapia para tratamento de câncer de mama que combina a tecnologia da VMAT com a modalidade convencional de radioterapia conformacional tridimensional (3D-CRT), sendo denominada arcoterapia volumétrica híbrida (H-VMAT). **Método:** Para elaboração do plano, adquiriram-se imagens tomográficas de um objeto simulador antropomórfico. Foram elaborados cinco planos híbridos de tratamento: H-VMAT 90% 3D-CRT e 10% VMAT; H-VMAT 80% 3D-CRT e 20% VMAT; H-VMAT 70% 3D-CRT e 30% VMAT; H-VMAT 60% 3D-CRT e 40% VMAT; e H-VMAT 50% 3D-CRT e 50% VMAT. **Resultados:** O plano híbrido com melhores resultados dosimétricos foi o H-VMAT 80% 3D-CRT e 20% VMAT por apresentar uma excelente cobertura do volume-alvo e doses nos órgãos de risco dentro dos limites, com destaque para a mama contralateral. **Conclusão:** As técnicas híbridas podem ser utilizadas para atender aos índices de conformidade e homogeneidade da dose no volume-alvo estabelecidos pelos protocolos internacionais e, ao mesmo tempo, para que haja redução de dose nos órgãos de risco.

Palavras-chave: Radioterapia Conformacional; Radioterapia de Intensidade Modulada; Neoplasias da Mama/radioterapia.

ABSTRACT

Introduction: Radiotherapy is one of the treatment strategies for breast cancer. With advances in radiotherapy treatment modalities, such as intensity modulated radiotherapy (IMRT) and volumetric modulated arc therapy (VMAT), it has become possible to deliver radiation doses while reducing treatment margins and improving radiation conformation to the target volume. **Objective:** To quantitatively analyze a hybrid radiotherapy technique for breast cancer treatment that combines VMAT technology with conventional 3D-CRT, called hybrid volumetric arc therapy (H-VMAT). **Method:** CT images of an anthropomorphic simulator object were acquired to develop the plan. Five hybrid treatment plans were developed: H-VMAT 90% 3D-CRT and 10% VMAT, H-VMAT 80% 3D-CRT and 20% VMAT, H-VMAT 70% 3D-CRT and 30% VMAT, H-VMAT 60% 3D-CRT and 40% VMAT, H-VMAT 50% 3D-CRT and 50% VMAT. **Results:** The hybrid plan with the best dosimetric results was H-VMAT 80% 3D-CRT and 20% VMAT, with excellent coverage of the target volume and doses to organs at risk within the limits, especially the contralateral breast. **Conclusion:** Hybrid techniques can be used to meet the target volume dose conformity and homogeneity indexes established by international protocols, and reduce the dose to organs at risk at the same time.

Key words: Radiotherapy, Conformal; Radiotherapy, Intensity-Modulated; Breast Neoplasms/radiotherapy.

RESUMEN

Introducción: La radioterapia es una de las estrategias de tratamiento del cáncer de mama. Con los avances en las modalidades de tratamiento radioterápico, como la radioterapia de intensidad modulada (IMRT) y la terapia de arco volumétrico modulada (VMAT), se ha hecho posible administrar dosis de radiación al tiempo que se reducen los márgenes de tratamiento y se mejora la conformación de la radiación en el volumen objetivo. **Objetivo:** Analizar cuantitativamente una técnica de radioterapia híbrida para el tratamiento del cáncer de mama que combina la tecnología VMAT con la 3D-CRT convencional, denominada terapia de arco volumétrico híbrida (H-VMAT). **Método:** Se adquirieron imágenes de TC de un maniquí antropomórfico para elaborar el plan. Se elaboraron cinco planes de tratamiento híbridos: H-VMAT 90% 3D-CRT y 10% VMAT, H-VMAT 80% 3D-CRT y 20% VMAT, H-VMAT 70% 3D-CRT y 30% VMAT, H-VMAT 60% 3D-CRT y 40% VMAT, H-VMAT 50% 3D-CRT y 50% VMAT. **Resultados:** El plan híbrido con mejores resultados dosimétricos fue H-VMAT 80% 3D-CRT y 20% VMAT, con excelente cobertura del volumen objetivo y dosis a los órganos de riesgo dentro de los límites, especialmente la mama contralateral. **Conclusión:** Las técnicas híbridas pueden utilizarse para cumplir con los índices de conformidad y homogeneidad de la dosis en el volumen objetivo establecidos por los protocolos internacionales, reduciendo al mismo tiempo la dosis en los órganos de riesgo.

Palabras clave: Radioterapia Conformacional; Radioterapia de Intensidad Modulada; Neoplasias de la Mama/radioterapia.

¹CORB Radioterapia. Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Programa de Pós-Graduação em Proteção Radiológica. Florianópolis (SC), Brasil. E-mail: tatimayla@gmail.com. Orcid id: <https://orcid.org/0009-0003-5161-1370>

²CORB Radioterapia. Itajaí (SC), Brasil. E-mail: herofenz@yahoo.com.br. Orcid id: <https://orcid.org/0009-0008-8136-0214>

³IFSC, Programa de Pós-Graduação em Proteção Radiológica. Florianópolis (SC), Brasil. E-mail: charlene.silva@ifsc.edu.br. Orcid id: <https://orcid.org/0000-0003-0761-4358>

⁴IFSC, Curso Superior de Tecnologia em Radiologia. Florianópolis (SC), Brasil. E-mails: juliana.muller@ifsc.edu.br; patricia@ifsc.edu.br. Orcid id: <https://orcid.org/0000-0002-8593-304X>; Orcid id: <https://orcid.org/0000-0002-9036-8356>

Endereço para correspondência: Tatiane Mayla Domingos Prandi. Rua Cesário Chaves, 222, aptos. 1202-3 – Fazenda. Itajaí (SC), Brasil. CEP 88302-350. E-mail: tatimayla@gmail.com



INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Nacional de Câncer (INCA), o câncer de mama está entre as maiores incidências de câncer no mundo e é a causa principal de morte entre mulheres. A estimativa é de cerca de 2,3 milhões novos casos de câncer de mama, somando 11,7% dos casos globais. No Brasil, são esperados 73.610 novos casos para cada ano do triênio 2023-2025¹. A radioterapia é uma das estratégias de tratamento para a neoplasia de mama, podendo ser realizada em toda a mama ou em uma parte dela (após tumorectomia), na parede torácica (após mastectomia) e nos linfonodos regionais². A definição do plano radioterapêutico varia de acordo com a anatomia do paciente, e também com a lateralidade da doença³, e cada uma das técnicas de entrega de dose disponível exige uma elaboração específica.

MÉTODO

Estudo exploratório analítico com uma abordagem quantitativa. Para simular os planos de tratamento acerca das técnicas de arcoterapia volumétrica híbrida (H-VMAT), foram realizadas imagens tomográficas a partir de um *phantom* antropomórfico (cedido pelo setor de radioterapia) com forma elíptica para simular a anatomia de um tronco humano de estatura média, ou seja, a estruturação do trabalho foi desenvolvida de maneira que não houve a necessidade de análise pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), de acordo com a Resolução n.º 510/2016⁴ do Conselho Nacional de Saúde (CNS).

As aquisições das imagens tomográficas foram realizadas em cortes axiais com espaçamento de 1,25 mm (aparelho *hi-speed* da marca GE *multislice* de 64 canais). As imagens DICOM foram inseridas no sistema de planejamento Eclipse⁵ (versão™ v. 15.6 da Varian, calculado com o algoritmo anisotrópico analítico – AAA).

Na sequência, foram realizados os delineamentos dos órgãos de risco (OAR) e do volume-alvo de planejamento (PTV), segundo as recomendações do atlas de anatomia do *Radiation Therapy Oncology Group* (RTOG)⁶.

Tanto o volume do alvo clínico (CTV), o qual englobou o tecido mamário e a parede torácica, quanto o PTV foram representados pela mama esquerda neste trabalho. Com vistas a facilitar o delineamento da mama e as angulações do *gantry*, foi delineada uma linha medial na região esternal. Os seguintes OAR foram delineados: pulmão ipsilateral, pulmão contralateral, medula espinhal, mama contralateral, esôfago, costelas e área cardíaca.

Por fim, a dose de prescrição estabelecida foi o regime de fracionamento convencional de 45 Gy em 25 frações

de 1,8 Gy/dia. Para os planos de arcoterapia volumétrica modulada (VMAT), foi delineada uma estrutura auxiliar delimitadora para as variações do *gantry* denominada “anel” (na cor verde) com a finalidade de reduzir doses no pulmão ipsilateral. Os planos foram calculados para o tratamento no acelerador linear *TrueBeam® Stx HD* (lâminas de 2,5 mm na região do isocentro), com energia de 6 MV, taxa de dose de 600 MU/min.

Para o estudo híbrido proposto no tratamento de mamas, foram avaliados cinco planos de tratamento com as seguintes proporções para cada técnica: H-VMAT_{90/10} (90% radioterapia conformacional tridimensional – 3D-CRT e 10% VMAT), H-VMAT_{80/20} (80% 3D-CRT e 20% VMAT), H-VMAT_{70/30} (70% 3D-CRT e 30% VMAT), H-VMAT_{60/40} (60% 3D-CRT e 40% VMAT), H-VMAT_{50/50} (50% 3D-CRT e 50% VMAT). Os melhores planos obtidos foram comparados isoladamente com as técnicas 3D-CRT e VMAT. Todos os planos com a técnica de VMAT foram realizados com quatro semiarcos, sendo eles com as configuração as seguintes angulações: 1º arco com angulações no sentido horário de 306° a 45°, 2º arco com sentido horário de 45° a 150°, 3º arco com angulações no sentido anti-horário de 150° a 45° e o 4º arco com angulação no sentido anti-horário de 45° a 306°, isocentro posicionado entre os arcos costais, sendo utilizados arcos bloqueados com a finalidade de retirar a divergência do feixe de radiação no volume do pulmão ipsilateral. Em todos os planos com a técnica 3D-CRT, foram utilizados filtros compensadores, campos paralelos e opostos com angulações de 306° e 133°.

Para a determinação da angulação do *gantry*, as técnicas foram baseadas na anatomia do objeto simulador, avaliando principalmente ângulos de entrada e saída na mama alvo e suas contribuições no pulmão ipsilateral, mama contralateral e área cardíaca. Destaca-se que a técnica *field-in-field* não foi utilizada no plano 3D-CRT com o objetivo de manter a coerência do uso dos filtros na modulação da técnica híbrida.

RESULTADOS

Para as combinações de técnicas propostas neste trabalho, a contribuição da dose prescrita para cada técnica é apresentada na Tabela 1.

Na Figura 1, é possível observar as distribuições e conformações das doses nos planos híbridos, ou seja, as respectivas porcentagens parciais referentes aos planos 3D-CRT e VMAT em cada planejamento, originando o plano denominado híbrido (H-VMAT). Ao analisar os planejamentos, observa-se que, no primeiro, 90% do plano foi utilizado o plano 3D-CRT e 10% do plano VMAT, no segundo a porcentagem de 80% da modalidade

Tabela 1. Proporções dos planos H-VMAT juntamente com as doses prescritas

Proporções do plano	Dose prescrita (cGy)	Técnica
H-VMAT _{90/10}	162	3D-CRT
	18	VMAT
H-VMAT _{80/20}	144	3D-CRT
	36	VMAT
H-VMAT _{70/30}	126	3D-CRT
	54	VMAT
H-VMAT _{60/40}	108	3D-CRT
	72	VMAT
H-VMAT _{50/50}	90	3D-CRT
	90	VMAT

Legendas: H-VMAT = arcoterapia volumétrica híbrida; 3D-CRT = radioterapia conformacional tridimensional; VMAT = arcoterapia volumétrica modulada.

3D-CRT e 20% da contribuição do plano de VMAT, no terceiro a porcentagem de 70% com 3D-CRT e 30% com o plano de VMAT, no quarto a porcentagem de 60% da modalidade 3D-CRT e 40% da contribuição do plano de VMAT, e por último uma proporção de 50% da técnica VMAT e 50% da técnica 3D-CRT.

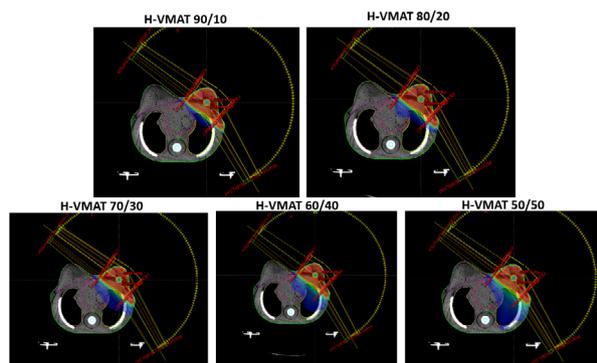


Figura 1. Demonstração da distribuição da dose nas proporções dos planos híbridos

Legenda: H-VMAT = arcoterapia volumétrica híbrida.

Entre os critérios de avaliação de qualidade dos planos, encontra-se o índice de homogeneidade (IH) das distribuições de dose, o qual é recomendado que seja próximo a zero⁷, e o índice de conformidade (IC) das distribuições de dose, que deve estar entre 0,95 e 2,0^{8,9}. Na Tabela 2, são exibidos os valores de IH e IC obtidos. Os valores de IH apresentaram uma variação de 5% a 6% no volume-alvo, o que sugere uma correlação de uniformidade aceitável⁷. Os valores de IC obtidos apresentaram variação entre 1,117 e 1,235, os quais qualificam todos os planos como aceitáveis conforme a ICRU83⁷.

Com base nos achados, conclui-se que os planos híbridos H-VMAT apresentam resultados melhores do que as técnicas isoladas como VMAT, principalmente em relação à dose nos OAR. À medida que se aumenta o percentual de contribuição da técnica de VMAT até um limite de 50%, não se observa mudanças significativas em $D_{95\%}$ e $D_{média}$ sobre o volume-alvo^{10,11}.

A avaliação dosimétrica do plano de tratamento contém uma análise quantitativa dos OAR. A descrição das restrições de dose entre as variações dos planos H-VMAT é demonstrada na Tabela 3. Os planos híbridos que apresentaram melhores restrições de doses nos OAR foram H-VMAT_{90/10}, seguido do plano H-VMAT_{80/20}. Esses planos ofereceram benefícios principalmente para a mama contralateral, com dose média inferior a 4 Gy, garantindo uma cobertura do volume-alvo satisfatória, considerando $D_{95\%}$ de 46,9 Gy para H-VMAT_{90/10} e 46,3 Gy para H-VMAT_{80/20}.

Para o pulmão ipsilateral, considerando as restrições, apresentou uma contribuição no volume do pulmão ipsilateral de 14,24% acima do tolerável, ou seja, V_{5Gy} com 57,12%, não estando em acordo com a recomendação do RTOG^{6,10} que estabelece V_{5Gy} em até 50% do volume do pulmão ipsilateral. Para as demais proporções dos planos de H-VMAT, obteve-se êxito nas restrições pertinentes à preservação dos OAR. Dentro dos planos aceitáveis em relação aos OAR, o valor de V_{5Gy} para o pulmão ipsilateral variou de 11,57% (H-VMAT_{90/10}) até 45%

Tabela 2. Análise dosimétrica do volume-alvo com cada proporção

Volume-alvo	H-VMAT 90/10	H-VMAT 80/20	H-VMAT 70/30	H-VMAT 60/40	H-VMAT 50/50	3D-CRT FILTRO	VMAT
$D_{95\%}$ (Gy)	46,9	46,3	46,3	46,3	46,3	45	45
$D_{média}$ (Gy)	48,4	47,5	47,5	47,5	47,6	46,6	46,5
$D_{máx.}$ (Gy)	50,2	48,8	48,8	49,2	49,4	48,1	48,3
Curva de prescrição	100	100	100	100	100	100	100
IC	1,23	1,16	1,17	1,17	1,11	1,03	1,18
IH	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06

Legendas: H-VMAT = arcoterapia volumétrica híbrida; 3D-CRT = radioterapia conformacional tridimensional; VMAT = arcoterapia volumétrica modulada; IC = índice de conformidade; IH = índice de homogeneidade; D = dose.



(H-VMAT_{60/40}), sugerindo que o aumento da contribuição da técnica VMAT no plano H-VMAT tem uma relação direta com aumento de doses baixas no pulmão ipsilateral.

Em relação à dose na área cardíaca, a técnica que apresentou melhor benefício foi a de H-VMAT_{90/10}. A irradiação parcial da área cardíaca com dose de 25 Gy deve ser menor que 10% (V_{25Gy}), garantindo assim que o risco de mortalidade cardíaca seja menor que 1%¹². Destaca-se que todos os planos apresentaram valores significativamente inferiores ao limite. Baseado nos valores apresentados na Tabela 3, o plano H-VMAT_{50/50} com valor de dose média para a área cardíaca de 5,47 Gy foi o único que não atingiu o limite de restrição de dose média para este órgão, que é de 4,0 Gy segundo o RTOG 1005⁶.

O RTOG 1005 determina que a dose máxima da mama contralateral não exceda 3,10 Gy e o volume de V_{3Gy} não ultrapasse 5%⁶. O plano de H-VMAT nas proporções de H-VMAT_{50/50} não respeitou as restrições da mama contralateral, e a dose máxima atingiu 5,8 Gy. As proporções dos planos H-VMAT_{90/10} e H-VMAT_{80/20} apresentaram a melhor redução de doses na mama contralateral. Observa-se que a dose recomendada de V_{3Gy} foi satisfatória para todos os planos híbridos.

A técnica híbrida H-VMAT (H-VMAT_{90/10} e H-VMAT_{80/20}) pode ser utilizada principalmente em pacientes com neoplasias de mama esquerda, por conta da redução de dose média no coração e uma melhora significativa da cobertura do PTV. A combinação entre VMAT e 3D-CRT permite uma preservação da dose média na área cardíaca, como também uma redução na dose média do pulmão contralateral em comparação às

técnicas isoladas. Além disso, oferece uma entrega de dose sem o aumento das doses baixas em tecidos adjacentes quando comparado às técnicas isoladas¹³. Na Tabela 4, observa-se a dose nos OAR nas técnicas isoladas.

Pode-se afirmar que a combinação entre VMAT e 3D-CRT permite uma preservação da dose média na área cardíaca como também uma redução na dose do pulmão contralateral. Esse fato reduz as toxicidades tardias, como doenças cardíacas e pneumonites, bem como os riscos de desenvolver indireta e/ou consequentemente neoplasias induzidas por radiação, tanto na mama contralateral quanto nos pulmões¹⁴. O plano híbrido entre VMAT e 3D-CRT também oferece uma entrega de dose sem o aumento das doses baixas em tecidos adjacentes quando comparado às técnicas isoladas. O plano híbrido oferece a vantagem da facilidade da modulação e ser mais ágil na retirada de pontos quentes.

DISCUSSÃO

Há um benefício imenso da utilização da técnica híbrida em outras neoplasias, como na região da próstata, mama bilateral, pulmão, cavidade oral e esôfago¹⁵. Porém, nos tratamentos de mama, são recomendadas ponderações que tenham uma maior contribuição da dose prescrita nos tratamentos tridimensionais e menores porcentagens em tratamentos de radioterapia de intensidade modulada (IMRT) e de VMAT¹⁴.

Os resultados obtidos estão de acordo com aqueles publicados por Ramasubramanian et al.¹⁴, nos quais as configurações de planos que apresentaram uma entrega de dose mais satisfatória foram os planos híbridos que têm

Tabela 3. Avaliação dosimétrica das proporções de VMAT combinada com 3D-CRT

OAR	Parâmetros	H-VMAT 90/10	H-VMAT 80/20	H-VMAT 70/30	H-VMAT 60/40	H-VMAT 50/50
Pulmão contralateral	D _{máx.} (Gy)	9,9	15,5	2,3	2,5	2,6
	V _{20Gy} (%)	0	0	0	0	0
	V _{10Gy} (%)	0	0	0	0	0
	V _{5Gy} (%)	0	0	0	0	0
Pulmão ipsilateral	D _{máx.} (Gy)	44,5	43,9	44	44,6	44,6
	V _{20Gy} (%)	2,4	2,1	2,6	3,5	4,8
	V _{10Gy} (%)	4,4	5,8	8,5	14,8	19,8
	V _{5Gy} (%)	11,5	18,2	27	45	57,1
Área cardíaca	D _{média} (Gy)	2,7	3,9	4,6	5,3	5,4
	V _{25Gy} (%)	0,03	0,04	0,06	0,11	0,2
	V _{10Gy} (%)	0,15	0,29	0,81	1,4	3,8
Mama contralateral	D _{média} (Gy)	3,5	3,9	5,5	6,1	5,8
	V _{3Gy} (%)	0	0	0	0	0
	V _{1,8Gy} (%)	0	0	0	0	0

Legendas: OAR = órgão de risco; H-VMAT = arcoterapia volumétrica híbrida; D = dose; V = volume.

Tabela 4. Comparação dosimétrica das técnicas isoladas

OAR	Parâmetros	H-VMAT 90/10	H-VMAT 80/20	3D-CRT FILTRO	VMAT
Pulmão contralateral	D _{máx.} (Gy)	9,9	15,5	11,9	8,4
	V _{5Gy} (%)	0	0	0	3,3
Pulmão ipsilateral	D _{máx.} (Gy)	44,5	43,9	42,3	43,8
	V _{20Gy} (%)	2,4	2,1	2,38	15,7
	V _{10Gy} (%)	4,4	5,8	3,78	43,7
Área cardíaca	V _{5Gy} (%)	11,5	18,2	6,95	75,3
	D _{média} (Gy)	2,7	3,9	1,13	13
Mama contralateral	V _{25Gy} (%)	0,03	0,04	0,03	5,7
	D _{média} (Gy)	3,5	3,9	3,6	4,5
	V _{3Gy} (%)	0	0	0	3

Legendas: OAR = órgão de risco; H-VMAT = arcoterapia volumétrica híbrida; 3D-CRT = radioterapia conformacional tridimensional; VMAT = arcoterapia volumétrica modulada; D = dose; V = volume.

uma maior contribuição da dose prescrita nos tratamentos tridimensionais e menores porcentagens em tratamentos com VMAT.

A técnica híbrida H-VMAT pode ser utilizada principalmente em pacientes com neoplasias de mama esquerda, por conta da redução da dose no coração e uma melhora significativa da cobertura do PTV. Assim como as outras técnicas, na técnica H-VMAT, o tratamento pode ser controlado por *gating* e/ou *deep inspiration breath-hold* (DIBH), auxiliando no controle respiratório e diminuindo a exposição da área cardíaca¹⁶. Com as técnicas de respiração, é possível a redução da dose na área cardiopulmonar sem comprometer a dose prescrita no volume-alvo. Uma inspiração profunda irá elevar a parede torácica e expandir o volume dos pulmões, empurrando assim o coração para a parte posterior e aumentando a distância do volume-alvo¹⁶.

Os critérios de restrições da avaliação da mama contralateral devem levar em consideração que há probabilidade de a radiação causar um câncer secundário na mama contralateral, os denominados efeitos estocásticos¹⁷. A preocupação é elevada para pacientes jovens diagnosticadas com câncer de mama, pois a radiação pode causar alterações genéticas no DNA que possibilitem a ocorrência de segundo câncer¹². Logo, devem ser utilizados todos os recursos para minimizar as toxicidades crônicas e tardias¹³.

Destaca-se que os resultados dosimétricos são quase integralmente satisfatórios para todas as técnicas, isoladas ou não, elas estão relacionadas à anatomia favorável do objeto simulador antropomórfico. Porém, é de conhecimento na prática diária que existem dificuldades implícitas que impossibilitariam obter resultados satisfatórios utilizando somente a técnica 3D-CRT.

CONCLUSÃO

Considerando a análise dosimétrica das proporções da H-VMAT, conclui-se que esse método de planejamento pode proporcionar uma excelente conformidade e homogeneidade da dose no volume-alvo. As proporções de H-VMAT que atenderam os requisitos para um plano satisfatório foram as proporções de H-VMAT_{90/10} e H-VMAT_{80/20} para o objeto simulador utilizado.

Portanto, sugere-se, para pesquisas futuras, a análise das doses em casos clínicos, principalmente com a sua utilização em pacientes com anatomia desfavorável ou pacientes que necessitam de tratamento na cadeia linfonodal mamária interna.

A combinação entre VMAT e 3D-CRT permite uma preservação da dose média na área cardíaca como também uma redução na dose do pulmão contralateral. Além disso, essa técnica oferece uma entrega de dose sem o aumento das doses baixas em tecidos adjacentes quando comparada à técnica isolada de VMAT.

AGRADECIMENTOS

Ao serviço de radioterapia CORB em Blumenau. Em especial ao Departamento de Física Médica, sob supervisão do Físico Médico Herofen Zaias, que desenvolveu o simulador antropomórfico utilizado no estudo.

CONTRIBUIÇÕES

Tatiane Mayla Domingos Prandi, Herofen Zaias e Patrícia Fernanda Dorow contribuíram na concepção e no planejamento do estudo, na análise e interpretação dos dados; na redação e revisão crítica. Charlene da Silva e Juliana dos Santos Müller contribuíram na análise dos



resultados; na redação e revisão crítica. Todos os autores aprovaram a versão final a ser publicada.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSES

Nada a declarar.

FONTES DE FINANCIAMENTO

Não há.

REFERÊNCIAS

1. Instituto Nacional de Câncer. Estimativa 2023 incidência de câncer no Brasil [Internet]. Rio de Janeiro: INCA; 2022. [acesso 2023 dez 20]. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files//media/document//estimativa-2023.pdf>
2. Waks AG, Winer EP. Breast cancer treatment: a review. *JAMA*. 2019;321(3):288-300. doi: <https://doi.org/10.1001/jama.2018.19323>
3. Bradley JA, Mendenhall NP. Novel radiotherapy techniques for breast cancer. *Annu Rev Med*. 2018;69(1):277-88. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-med-042716-103422>
4. Conselho Nacional de Saúde (BR). Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016. Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais cujos procedimentos metodológicos envolvam a utilização de dados diretamente obtidos com os participantes ou de informações identificáveis ou que possam acarretar riscos maiores do que os existentes na vida cotidiana, na forma definida nesta Resolução [Internet]. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2016 maio 24 [acesso 2024 jan 25]; Seção 1:44. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2016/res0510_07_04_2016.html
5. Eclipse Treatment Planning System [Internet]. Versão 15.6. Palo Alto: Varian Medical Systems; 2023. [acesso 2024 jan 25]. Disponível em: <https://www.varian.com/pt-br/products/radiotherapy/treatment-planning/eclipse>
6. Vicini FA, Winter K, Freedman GM, et al. NRG RTOG 1005: a phase III trial of hypo fractionated whole breast irradiation with concurrent boost vs. conventional whole breast irradiation plus sequential boost following lumpectomy for high risk early-stage breast cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2022;114(Sup3):S1. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2022.07.2320>
7. Hodapp N. Der ICRU-Report 83: prescribing, recording, and reporting intensity-modulated photon-beam therapy (IMRT). *Strahlenther Onkol*. 2012;188(1):97-100. doi: <https://doi.org/10.1007/s00066-011-0015-x>
8. Lopes JS, Leidens M, Razera RAZ, et al. Avaliação da homogeneidade e conformidade de dose em planejamentos de IMRT de próstata em radioterapia. *Rev Bras Fis Med*. 2016;9(3):34-7. doi: <https://doi.org/10.29384/rbfm.2015.v9.n3.p34-37>
9. Freedman GM, White JR, Arthur DW, et al. Accelerated fractionation with a concurrent boost for early stage breast cancer. *Radiother Oncol*. 2013;106(1):15-20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2012.12.001>
10. Jöst V, Kretschmer M, Sabatino M, et al. Heart dose reduction in breast cancer treatment with simultaneous integrated boost. *Strahlenther Onkol*. 2015;191(9):734-41. doi: <https://doi.org/10.1007/s00066-015-0874-7>
11. Bahrainy M, Kretschmer M, Jöst V, et al. Treatment of breast cancer with simultaneous integrated boost in hybrid plan technique. *Strahlenther Onkol*. 2016;192(5):333-41. doi: <https://doi.org/10.1007/s00066-016-0960-5>
12. Beaton L, Bergman A, Nichol A, et al. Cardiac death after breast radiotherapy and the QUANTEC cardiac guidelines. *Clin Transl Radiat Oncol*. 2019;19:39-45. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2019.08.001>
13. Dumane VA, Lo YC, Green S. Combination of volumetric-modulated arc therapy (VMAT) and partially wide tangents (PWT) for improved organ sparing in a left-si. *Appl Rad Oncol*. 2018;7(2):31-38.
14. Ramasubramanian V, Balaji K, Balaji SS, et al. Hybrid volumetric modulated arc therapy for whole breast irradiation: a dosimetric comparison of different arc designs. *La radiologia medica*. 2019;124(6):546-54.
15. Liu H, Chen X, He Z, et al. Evaluation of 3D-CRT, IMRT and VMAT radiotherapy plans for left breast cancer based on clinical dosimetric study. *Comput med imaging graph*. 2016;54:1-5. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compmedimag.2016.10.001>
16. Jensen CA, Roa AMA, Johansen M, et al. Robustness of VMAT and 3DCRT plans toward setup errors in radiation therapy of locally advanced left-sided breast cancer with DIBH. *Phys Med*. 2018;45:12-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2017.11.019>
17. Brownlee Z, Garg R, Listo M, et al. Late complications of radiation therapy for breast cancer: evolution in techniques and risk over time. *Gland Surg*. 2018;7(4):371-8. doi: <https://doi.org/10.21037/2Fgs.2018.01.05>

Recebido em 13/5/2024
Aprovado em 12/6/2024

